

## **Higgs keşfedildi, şimdi ne olacak? Evren hakkında bütün gizemler**

Kerem Cankoçak (Bilim ve Gelecek Ağustos 2012)

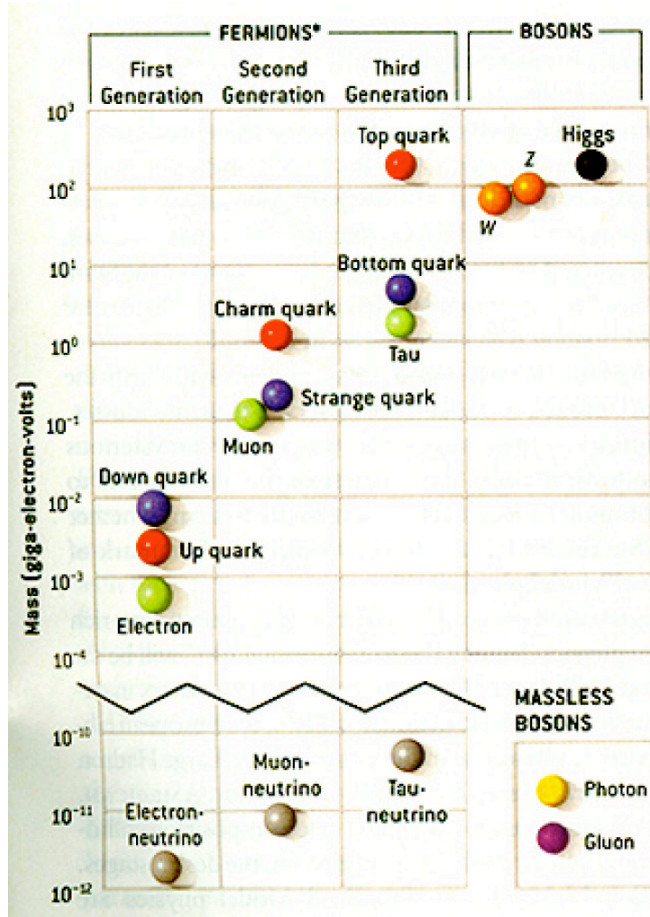
### **Giriş:**

21. yüzyıl fiziği, antik çağdaki doğa felsefecilerinin sorduğu sorulara yanıt vermeye başladı: Nereden geldik, nereye gidiyoruz? Evrenin temel yapıtaşları nelerdir, nasıl oluştu? Neden bu temel yapıtaşları bu özelliklere sahip? Bu ve bunun gibi soruların yanıtlanmasında Higgs parçacığının keşfi önemli bir dönüm noktası olacak. 4 Temmuz 2012 tarihinde CERN'in genel müdürü Rolf Hauer Higgs parçacığının kütlelerinin yaklaşık 125 GeV'de (proton kütlelerinin yaklaşık 125 katı) gözlemlendiğini açıkladı. Ancak, LHC deneyleri sadece Higgs parçacığının kütlelerini ölçmek için tasarlanmadı. Tam tersine, asıl iş Higgs bulunduktan sonra başlıyor. Bu yazının ileriki bölümlerinde açıklamaya çalışacağımız gibi, Higgs'i keşfetmek aslında bulmacanın küçük bir parçasıydı. LHC deneyleri için en kötü senaryo belki de Higgs'i keşfedip başka hiç bir şey keşfedememek olabilir.

Birçok yayın organında “Tanrı parçacığı”, “evrenin oluşumunu açıklayan parçacık” vb gibi sıfatlar alan Higgs bozonu gerçekte nedir? Söylentiye göre kendisi de ünlü bir parçacık fizikçisi olan Lederman, Peter Higgs'in adını taşıyan ve 1962 yılında ortaya atılan kuramsal parçacığın bulunması için gösterilen tüm çabalara rağmen bir türlü saptanamayışı dolayısıyla “kahrolası (goddamned) parçacık” demek istemiş, ancak yayıncısı kamu beğenisini gözeterek bunu “Tanrı (God) parçacığı” olarak değiştirmiştir. Ügrunda bunca para harcanan ve 50 yıldır keşfedilmeye çalışılan Higgs bozonu gerçekten bu kadar önemli mi? Higgs parçacığı bir atom-altı parçacık, hatta temel parçacık olduğu için her şeyden önce kuantum yasalarına tabidir ve Higgs'i anlamak için biraz kuantum fiziği bilmek gerekir. İkinci olarak da Standart Modelin (SM) son eksik parçası olan Higgs parçacığını ancak SM içinde kavrayabiliriz. Higgs parçacığı Standart Model için önemli, ama SM'in kendisinin bir çok sorunu var ve günümüzde artık SM ötesi fizik kuramları araştırılmakta. Belki bir çok “Higgs” var, belki de bir çok boyut ya da bir çok “Evren”. Bu yazıda günümüz fiziğinin evreni anlama çabasında geldiği yeri LHC deneyleri ekseninde özetlemeye çalışacağız.

### **Standart Model:**

İnsanlık, tarih boyunca “madde nelerden oluşur?” ve “bunları bir arada tutan şey nedir?” soruları etrafında doğayı anlamaya çalışmıştır. Sayısız deneyler ve deneylere öneri, öngörü ve yorum getiren kuramsal çalışmalar göstermiştir ki madde çok az sayıda ve oldukça küçük yapı taşlarından oluşmaktadır. Diğer bir deyimle, hava, su, ateş ve toprak bir metrenin on milyarda biri büyüklüğündeki atomlardan; atomlar kendilerinden on bin kat küçük çekirdek ile bir milyar kat küçük elektronlardan; çekirdek ise kendinden on kat daha küçük nötron ve protonlardan oluşmaktadır. Atom çekirdeğindeki proton ve nötronlar ise temel parçacık olan kuarklardan meydana gelmektedir. Böylesi küçük varlıkların davranışları günlük hayatta gözlemlediğimiz cisimlerden farklıdır: konumları ne kadar yüksek hassasiyetle ölçülürse hızları o kadar az hassasiyetle bilinebilir (Heisenberg belirsizlik ilkesi); hem dalga hem parçacık özellikleri gösterirler; devinim esnasında belli bir yörünge izlemezler; verilen bir durumdan diğerine geçerken gözlenemeyen ara durumlar yaşarlar. Bu prensipler bütünü kuantum mekaniği olarak adlandırılır. Günümüzde içinde yaşadığımız evrenin ve onu oluşturan maddenin temel yapısını çok iyi biliyoruz. Bu konuda şimdiye kadar gelişmiş ve deneysel olarak ispatlanmış en iyi teori Standart Model (SM) adı verilen bir modeldir. Evrende, bilinen dört temel kuvvetten ikisini, Elektromanyetik ve Zayıf kuvveti, aynı kuram içinde birleştiren Standart Model, fizik biliminin 20. yy' daki en büyük başarılarından biri olmuştur.



Şekil: Standart Modelde temel parçacıklar

#### Standart Model hakkında kısa bilgi:

Standart Model' de temel parçacıklar  $10^{-18}$  -  $10^{-19}$  m. boyutlarında, maddenin noktasal (iç yapısı olmayan) en temel yapı taşları olarak tanımlanır. Bunlar, madde parçacıkları ve ara etkileşim parçacıkları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Spin sayısı  $s = 1/2$  olan birinciler yine kendi aralarında lepton ve kuark olarak ikiye ayrılırlar. Leptonlar, temel elektron yükü biriminde elektrik yüküne sahip elektron,  $e^-$ , muon  $\mu^-$  ve tao  $\tau^-$ ; ile 0 elektrik yüküne sahip  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$  ve  $\nu_\tau$  nötrinolarıdır. Kesirli elektrik yüküne sahip **kuarklar** 3-aile modeline göre altı kuarktan oluşurlar: yukarı kuark **u**, aşağı kuark **d**, acaip kuark **s**, tılsımlı kuark **c**, alt kuark **b** ve tepe kuark **t**.

Standart Model' de kuark aileleri			Standart Model' de lepton aileleri			
<u>Çesni</u>	<u>Kütle (GeV/c<sup>2</sup>)</u>	<u>Elektrik Yüğü (e)</u>		<u>Çesni</u>	<u>Kütle ( GeV/c<sup>2</sup>)</u>	<u>Elektrik Yüğü</u>
<b>u</b> üst (up)	0.003	+2/3	<b><math>\nu_e</math></b>	e nötrino	$< 7 * 10^{-9}$	0
<b>d</b> alt (down)	0.006	-1/3	<b>e<sup>-</sup></b>	elektron	.000511	-1
<b>c</b> tıslımlı (charm)	1.3	+2/3	<b><math>\nu_\mu</math></b>	$\mu$ nötrino	< .0003	0
<b>s</b> acaip (strange)	0.1	-1/3	<b><math>\mu^-</math></b>	müon	0.106	-1
<b>t</b> tepe (top)	173	+2/3	<b><math>\nu_\tau</math></b>	$\tau$ nötrino	< .03	0
<b>b</b> taban (bottom)	4.5	-1/3	<b><math>\tau^-</math></b>	tau	1.7771	-1

Fermi-Dirac istatistiğine (anti-simetrik) uyan fermionlar, 1/2, 3/2 ...gibi 1/2 nin tek katları olan iç açısal momentuma (spin) sahip parçacıklardır. Temel madde parçacıkları (kuarklar, leptonlar ile proton ve nötron gibi birçok bileşik parçacıklar) fermiondur. Bose-Einstein istatistiğine (simetrik) uyan bozonlar ise, tam sayı spine sahip parçacıklardır. Tüm temel etkileşmelerin kuvvet taşıyıcıları olan ara etkileşim parçacıkları bozondur. Kütleçekim etkileşimini bir kenara bırakırsak, diğer üç tür temel etkileşim (elektromanyetik, zayıf ve yeğin etkileşimler), spin  $s = 1$  olan bozon parçacıklarının değış-tokuşu yoluyla gerçekleşir. *Foton*,  $\gamma$ , **elektromanyetik** etkileşimin, sekiz adet gluon,  $g_a$  ;  $a = 1, ..8$  , **yeğin (strong)** etkileşimin, üç adet zayıf bozon,  $W^\pm$ ,  $Z$  ise **zayıf etkileşimin** kuvvet taşıyıcılarıdır.

Fermion sektörü kuark ve leptonlardan oluşur ve kütleleri dışında diğer bütün özellikleri aynı olan üçlü aileler ve karşıt parçacıkları şeklinde gruplanırlar. Standart Modelin **ayar sektörü**,  $SU(3)_C$  grubunun ayar bozonları olan sekiz gluondan ve  $SU(2)_L \times U(1)_Y$  grubunun ayar bozonları olan  $\gamma$ ,  $W^\pm$  ve  $Z$  parçacıklarından meydana gelir. Gluonlar kütsüz, yüksüz ve renk kuantum sayısına sahip ayar parçacıklarıdır. Sekiz farklı renk kuantum sayısına sahip olduklarından, sekiz adet gluon vardır. Renk adı verilen bu iç kuantum sayısı nedeniyle gluonlar sadece kuarklarla değıl, kendileri ile de etkileşime girebilirler. Öte yandan, zayıf etkileşimin kuvvet taşıyıcıları olan  $W^\pm$  ve  $Z$  bozonları da kendi içlerinde etkileşime girebilen, kütleli parçacıklardır ve sırasıyla  $Q = \pm 1$  ve sıfır elektrik yüklerine sahiplerdir. Elektromanyetik etkileşimin kuvvet taşıyıcısı olan foton  $\gamma$  ise, diğer fotonlarla etkileşime girmeyen, kütsüz ve yüksüz parçacıklardır.

Elektromanyetik etkileşimin kuvvet taşıyıcısının kütsüz bir ayar bozonu (foton) olması nedeniyle erişim mesafesi sonsuzken, yaklaşık **100 GeV** kadar büyük bir kütleyle sahip ayar bozonları tarafından gerçekleşen zayıf etkileşimin erişim mesafesi  $10^{-16}$  cm civarındadır. Güçlü etkileşimin kuvvet taşıyıcıları olan gluonlar kütsüz olduğu halde, kuark-hapsi denilen bir fiziksel özellik nedeniyle, erişim mesafesi sonsuz değıl, yaklaşık bir hadron boyutu olan  $10^{-13}$  cm' dir.

Günlük hayatta etrafımızda gördüğümüz hemen hemen her olayın sebebi kütleçekim ve elektromanyetik kuvvetlerdir. Gözümüze gelen ışık, kullandığımız elektronik aletler, maddeyi oluşturan moleküllerin birbirlerine bağlanması vs bu elektromanyetik kuvvet sayesinde. Elektromanyetik kuvvetin büyüklüğü kütleçekimin büyüklüğünden trilyonlarca kez daha fazladır (tam olarak  $10^{36}$  kat). Böyle olduğu halde, kütleçekim bir elmayı ağaca bağlayan elektromanyetik kuvvetin üstesinden gelip onun düşmesine sebep olabilir; çünkü kütleçekim elmadaki atomlar üzerinden birikebilir. Oysa elektromanyetik kuvvet iki yönlüdür: Zıt yüklü elektrik yükler birbirlerini çeker, aynı yükler ise iter. Dolayısıyla elektromanyetik kuvvet

atomlar üzerinden toplamda birbirini yok ederken, kütleçekim birikir ve bizleri dünyamıza çeker. Atomun elektronunun kopup gitmesinden ve atom çekirdeğindeki olaylardan sorumlu Zayıf ve yeğin kuvvetlerin ise erişimleri çok kısıdır (atom ve çekirdek boyutlarında). Buna karşın yıldızlardaki element üretiminden bu kuvvetler sorumludur.

Elektrozayıf			Güçlü yada Renk		
Bozon	Kütle (GeV/c <sup>2</sup> )	Elektrik Yük	bozon	Kütle (GeV/c <sup>2</sup> )	Elektrik Yük
$\gamma$	0	0	glüon	0	0
$W^+$	80	+1			
$W^-$	80	-1			
$Z^0$	91	0			

spin = 1  
temel etkileşimlerin kuvvet taşıyıcıları

bu tablodaki Güçlü yerine Yeğin yazılacak !!!!!

bozonlar, fermiyonlar

Fermiyonlar		Bozonlar	
Leptonlar	Spin $\frac{1}{2}$	1	Taşıyıcı Bozonlar $\gamma W^+ W^- Z^0 g$
Kuarklar			Mezonlar ( $q\bar{q}$ )
Baryonlar ( $qqq$ )	$\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$	0, 1, 2, ...	

Atom çekirdeğindeki proton ve nötronları oluşturan kuarklar doğada diğer kuarklarla birlikte gruplar halinde bulunurlar. Tek kuark kesirli elektrik yüküne sahiptir. Ancak bu kesirli yükler direkt olarak elde edilemezler çünkü kuarklar tek olarak bulunmazlar. Bunun yerine, kuarklar **hadronlar** olarak adlandırılan birleşik parçacıklar oluştururlar. Bir hadrondaki kuarkların elektrik yüklerinin toplamı ise her zaman bir tam sayıdır. Tek başına kuarklar renk yükü taşırlarken hadronlar **renk-yüksüzü'** dürler. Hadronların iki sınıfı vardır:

**Baryonlar:** Yeğin kuvveti hisseden ve tamsayı artı yarım spinli parçacıklardır. Üç kuarkın birleşimidir.(qqq) Örneğin proton iki üst ve bir alt kuarkın birleşimidir(uud).

**Mezonlar:** Yeğin kuvveti algılayan tamsayı spinli parçacıklardır. Mezonlar bir kuark ve bir karşı-kuarkın birleşimidirler. Mezon için bir örnek piondur. Pion bir yukarı bir de aşağı kuarkın biraraya gelmesi ile oluşur. Mezonlar bir parçacık ve karşı-parçacık kombinasyonu olduğundan kararsız bir yapı gösterirler ve çabuk bozunurlar.

### Standart Model 'in başlıca sorunları:

SM atom altı düzeydeki hemen her olayı büyük bir hassaslıkla açıklayabildiği halde, kendi içinde bir çok sorun barındıran bir kuramdır. Bu sorunların başlıcalarını sıralayalım.

- Çok fazla parametre var: Standart Model içinde dışarıdan ithal ettiğimiz birçok parametre var. Bu parametrelerin orijini hakkında birçok sorumuz var. Örneğin **kuarklar** teoriye elle koyulmuşlardır: SM temel olarak Elektrozayıf etkileşimleri açıklayan **Kuantum Elektromanyetik Dinamiği** kuramı üzerine kurulmuştur, fakat kuark alanları SM'e elle konulmuştur. Kuark alanlarının kendiliğinden çıktığı modeller SM ötesi kuramlardır.
- Elektrozayıf Simetri Kırılması hala anlaşılabilmiş değil: Elektromanyetik ve Zayıf kuvveti birleştiren Elektrozayıf kuvvet aslında kırılmış bir simetridir. Tüm madde ve kütleye sahip kuvvet taşıyıcı alanlar kendiliğinden gerçekleşen Elektrozayıf simetri kırılması ile kütle kazanmaktadırlar. Higgs bozonunun keşfi parçacıkların nasıl kütle kazandığını açıklamada önemli bir köşe taşı da olsa, bu mekanizma tam olarak anlaşılabilmiş değil.
- Güçlü Nükleer Kuvvette Yük-ayna simetrisinin (CP) Kırılması Anlaşılabilmiş değildir. Bu nedenle evrende neden karşı-madde olmadığını cevabı tam olarak verilmiş değildir. Günümüzde Zayıf Nükleer Kuvvetin CP simetrisi altında tam olmadığı deneyler ile

ispatlanmıştır. Fakat Güçlü Nükleer Kuvvetin de CP simetrisi altında tam olmadığına dair deneysel kanıtlar bulunmuştur.

- Çeşni karışımı ve ailelerin sayısı keyfi: SM de üç tane aile vardır ve bu aileler kendi aralarında bir karışıma sahiplerdir. Fakat neden üç aile olması gerektiği hala belirlenememiştir. Etrafımızdaki uzayın tamamına yakını en hafif aileden oluştuğuna göre diğer ağır iki aileye neden ihtiyaç bulunmaktadır?
- Kütle spektrumunun orijini belirsiz: SM içinde birçok alan vardır, bu alanların kuantumları olan parçacıklar Higgs alanı olan etkileşmelerinin mertebesine göre kütle kazanırlar. Fakat Bu kütle spektrumunun orijini hala belirsizdir. Kuarkların ve leptonların neden bu kadar farklı kütlelere sahip oldukları anlaşılmış değildir.
- Kuark ve Lepton alanları birer temel alan ya da daha temel alanlardan oluşup oluşmadıkları SM içinde bir cevabı yoktur.
- **Elektroyeğin** etkileşmelerin standart modeli (SM), yapılagelmiş bütün deneylerle mükemmel bir uyum sergilemiş olmasına rağmen, bizzat kendisinin sahip olduğu kuantum kararsızlığı nedeniyle hayati bir problemle karşı karşıya kalmaktadır (*ayar hiyerarşisi problemi*). Morötesi geçerlilik sınırı yükseldikçe Elektroyeğin kuramı bir bütün olarak geçersiz kılan bu kararsızlık önlenmelidir ki nükleer bozulmalar bilinen hızda, güneş bilinen parlaklıkta, W/Z bozonlar ölçülmüş kütle değerlerinde kalabilsinler.
- Kütleçekim kuvveti SM içinde yer almamaktadır

### **Kozmolojik problemler:**

SM'in sorunlarının yanısıra henüz çözülmemiş olan diğer kozmolojik problemler ise Kara Madde ve Kara Enerjinin kaynağıdır. Gözlemlenebilir evrende yapılan ölçümler, galaksilerin hesaplanabilen maddeden daha fazla bir maddenin çekim etkisi yüzünden çok hızlı döndüklerini ortaya çıkarmıştır. Kaynağını bilmediğimiz bu maddeye Kara Madde adını vermekteyiz. Öte yandan, yine son yıllarda yapılan ölçümler göstermiştir ki, itici bir Kara Enerji sayesinde evren hızlanarak genişlemektedir. Evrenin enerji yoğunluğunun, kaynağını bilemediğimiz ama ölçebildiğimiz bu kara madde (%23) ve kara enerjinin (%73) dışında kalıp da tanımlayabildiğimiz kısmı %4 kadardır. Bütün bu kozmolojik verileri tutarlılık içinde açıklayabilen çeşitli fizik modelleri vardır, ancak bunlar henüz test edilmemişlerdir. Günümüzde parçacık fiziğinin ve kozmolojik araştırmaların temel uğraş alanlarından biri de kara madde ve kara enerji kaynaklarını belirleyebilmek ve tutarlı bir kuramsal model çerçevesinde bunların birbirlerine oranlarını hesaplamaktır. Kara madde ile kara enerjinin birbirlerine oranları aynı zamanda evrenin gelecekteki tarihi hakkında da bilgi vermektedir. Eğer kara enerji baskın olursa evren "büyük parçalanma" ile son bulacak, eğer kara madde daha yüksek oranda çıkarsa evren kendi içine çökecek, son olarak bunların oranı birbirlerini dengeleyecek şekilde çıkarsa evren "düz evren" olarak adlandırılan bir süreçte, günümüzdeki gibi hızlanmaya devam edecektir. CERN'deki LHC deneylerinde Süpersimetrik parçacıklar keşfedilirse, bunlar Kara Madde' nin kaynağını açıklayabileceklerdir. Ancak yazının ilerleyen bölümlerinde göreceğimiz gibi, Kara Enerjinin kaynağını açıklamak daha zordur.

### **Higgs:**

Standart modeldeki sorunların bir kısmını çözmek için ortaya atılan en basit teori, bütün parçacıkların kütesiz oluşudur! Evreni alanlar doldurmuştur; parçacıklar Higgs alanı denilen bu alanla etkileşime girerken kütle kazanmaktadır. Kuantum fiziğine göre her alanın bir kuantumu vardır. Örneğin elektromanyetik alanın kuantumuna foton (bildiğimiz ışık) denir. İşte Higgs alanının kuantumu da Higgs parçacığıdır. Dolayısıyla diğer parçacıklara kütle kazandıran Higgs mekanizması, doğada sıfır yüke ve sıfır spine sahip bir bozonun var olmasını gerektirir, ki 4 Temmuzda CERN'de keşfedilen bozon çok büyük bir ihtimalle Higgs bozonudur.

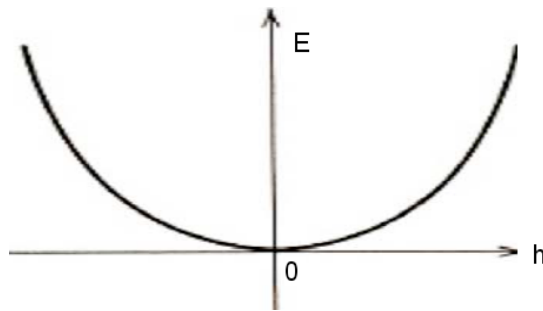
SM'deki parçacıkların nasıl kütle kazandırdıklarını açıklığa kavuşturan Higgs mekanizması, ilk defa 1962 yılında Philip Warren Anderson tarafından ortaya atılmıştı. 1964'de birbirinden bağımsız 3 grup, bu mekanizmayı görelilik kuramına uygun hale getirdiler: Robert Brout ve Francois Englert; Peter Higgs; ve Gerald Guralnik, C. R. Hagen, ve Tom Kibble. Daha sonra Steven Weinberg ve Abdus Salam Higgs mekanizmasını kullanarak SM'i temellerini kurdular. SM'e göre, çok yüksek sıcaklıklarda Elektro-zayıf simetri kırılmadan dururken, bütün parçacıklar kütesizdir. Düşük sıcaklıklarda, belli bir kritik sıcaklıkta Elektrozayıf simetri kırılır ve W ile Z bozonları kütle kazanır.

Higgs mekanizmasına biraz daha yakıdan bakalım. Günümüz fiziğinde parçacıklar alanların kaynağıdır. Bir parçacık diğerinin alanını hissettiğinde etkileşme meydana gelir. Evrendeki her temel etkileşim kuvveti için bir alan vardır (elektromanyetik, zayıf, yeğin ve kütleçekim alanları). Öte yandan, enerjiye sahip her parçacık bir **kütleçekim alanı** oluşturur. Standart Modelde parçacıklar bir Higgs alanı ile etkileşerek kütle sahibi olurlar. Örneğin fotonlar ve gluonlar Higgs alanı ile etkileşmezler, dolayısıyla kütesiz kalırlar. W ve Z bozonları ise Higgs'le etkileşerek, bir anlamında Higgs'in "ağdalılığı" içinde kütle kazanırlar. Bu mekanizmayı anlayabilmek için evrenin taban durumunu gözümüzün önüne getirelim. Evren alanlarla doludur ve enerji taşıyan bu alanlar uzayın her noktasına bir enerji yoğunluğu eklerler. Enerji yoğunluğunun en düşük olduğu duruma boşluk durumu (vakum state) denir

Şimdi,  $h$  Higgs alanı varsayarak,  $E$  kadar bir enerji miktarı ekleyerek evrenin enerji yoğunluğunu arttırdığımızı düşünelim ve bu enerjinin  $h$  alanı ile aşağıdaki bağlantıyı kurduğunu varsayalım:

$$E = M^2 h^2 + Xh^4$$

Bu denklemde X değeri belli olmayan pozitif bir sayıdır.  $M^2$  sayısı ise Higgs bozonlarının kütlesi ile ilgilidir.  $M^2$ 'nin pozitif değerler alacağı bir durumda, yukarıdaki denklem şöyle bir diyagram verir:

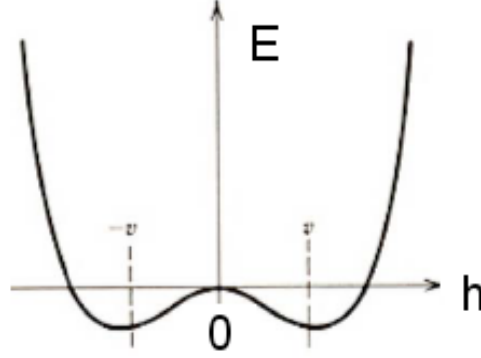


şekil:  $M^2$ 'nin pozitif olduğu durumlarda  $E = m^2 h^2 + Xh^4$  diyagramı. Higgs alanı sıfır iken Evren en düşük enerji durumunu alıyor. Böyle bir simetrik evrende hiç bir şey gerçekleşmez.

Bu diyagrama göre evren en düşük enerji durumuna Higgs alanı sıfır iken varır. Bu simetrik bir evrendir ve bu evrende Hiçbir olay gerçekleşmez. Çünkü Higgs alanı sıfırdır ve dolayısıyla bu alanla Hiçbir parçacık etkileşime girmez.

Oysa,  $M^2$ 'nin **negatif değerler** alabildiği bir durumda, aşağıdaki diyagramı elde ederiz ki, bu bize evrenin en düşük enerji durumunun Higgs alanının sıfır olmadığı değerlerde

gerçekleştiğini gösterir.



şekil:  $M^2$ 'nin negatif olduğu durumlarda  $E = m^2 h^2 + \lambda h^4$  diyagramı bize evrenin en düşük enerji durumunun Higgs alanının sıfır olmadığı değerlerde gerçekleştiğini gösterir.

Higgs mekanizması denilen bu mekanizma **Kendiliğinden Simetri Kırılması** ile elde edilir. Bu grafiği 3 boyutta düşünürsek, bir Meksika şapkasına benzetebiliriz: Meksika şapkasının tepesinde bir bilye dengede duramaz, **kendiliğinden** bir tarafa düşmek zorundadır. Aynı şekilde Higgs alanı da sıfır olamaz, çünkü evrenin en düşük enerji yoğunluğu Higgs alanının sıfırdan farklı değerler aldığı noktalardadır. Diğer bir deyişle, evren boş iken sıfırdan farklı bir Higgs alanı ile dolmuştur. Öte yandan, Higgs alanı sadece diğer parçacıklara kütle kazandırmakla kalmaz, elektromanyetik ve zayıf etkileşimler için kuvvet taşıyıcılarının kütlelerindeki büyük eşitsizlik sorununa da çözüm bulur. Çok farklı güçlere sahip olan bu iki etkileşimi tek bir elektrozayıf etkileşimde birleştirir; bu birleşme bir kuvvet taşıyıcısının, fotonun kütsüz, iki kuvvet taşıyıcısının, W ve Z parçacıklarının da dev kütlelere sahip olmasını gerektirir. Böylelikle Higgs alanını sadece W ve Z parçacıklarına kütle veren “viskozite”yi değil, aynı zamanda bu parçacıklarla kütsüz fotonu birleştiren “çimento”yu da sağlar. Higgs kütesinin büyüklüğü ise kuramdan değil, deneyden gelir.

### CERN'de Higgs bozonu nasıl keşfedildi?

Deniz suyunun ısısı bir litre kaynamış suya oranla kat kat daha fazladır. Çünkü ısı bir enerji ölçüsüdür ve deniz suyunun muazzam miktardaki kütesinin içerdiği enerji bir litre kaynamış suyun enerjisinden milyarlarca kez daha büyüktür. Böyle olduğu halde başımızdan aşağı bir litre kaynamış su döktüğümüzde haşlanırsınız da denize girdiğimizde hiçbir şey hissetmeyiz. Hatta deniz suyunun sıcaklığı düşükse üşürüz. Bunun nedeni denizin ısısının dağılmış durumda olmasıdır. Oysa bir litre kaynamış suyun ısısı (yani enerjisi) küçük bir alanda yoğunlaşmıştır. Öyleyse önemli olan enerji miktarı değil, **enerjinin yoğunlaşma derecesidir**.

Peki, enerji çok daha fazla yoğunlaştığında ne olur? Einstein'ın 1905'de ortaya koyduğu özel görelilik kuramına göre  $E=mc^2$  ile uyumlu olarak enerjinin madde, parçacık ve alanlar arasında değiş tokuş yapabilir. Eğer alanda yeteri kadar uygun yerel enerji varsa, kendini bir çift parçacığa dönüştürebilir (kesin konuşmak gerekirse, bir parçacık ve onun karşı-parçacık karşılığı) ve bu varlıklar enerjileri başka bir çeşit alan enerjisine dönüştükçe yok olarak etkileşebilir. Bu basit denklemin içerdiği anlam aslında çok büyüktür. Sözle ifade edersek şöyle söylememiz gerekir: **Enerji eşittir kütle**. Öyleyse enerji yeteri derecede yoğunlaştığında maddeye dönüşür. Bunu söyle de ortaya koyabiliriz: bir maddenin enerjisini yeterli oranda arttırdığımızda o maddenin kütesi

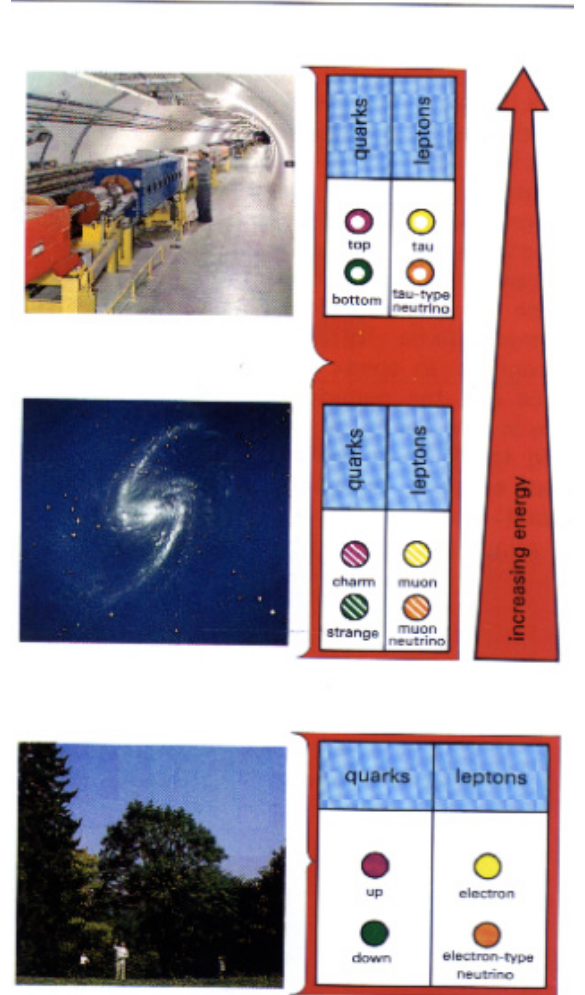
enerjiye dönüşür. Küçük bir kıvılcım yaklaşık 1000 C derece sıcaklığa sahiptir. Aslında enerjisi çok küçüktür, ama yoğunlaşmış durumda olduğundan bizim görebileceğimiz düzeyde ışık üretir. Bu küçük kıvılcımın enerjisini çok küçük bir hacimde yoğunlaştırırsak onu kütleye dönüştürürüz. Einstein'ın Özel Görelilik teorisinin bir sonucu olan bu durum deneylerle ispatlanmıştır. Parçacık hızlandırıcılarında yapılan deneylerde iki parçacık (örneğin iki proton) ışık hızına yakın hızlarda hızlandırıldıktan sonra çarpıştırılır ve yoğunlaşan enerjiden yeni parçacıklar elde edilir. Çarpışmadan sonraki madde miktarı, çarpışma öncesinden kat kat daha fazladır. Rakamlarla ifade edersek, **25 milyar kilowatt-saat** enerji **bir gram** maddeye eşittir. Büyük bir şehrin yaklaşık bir günlük enerji tüketiminin tamamını maddeye dönüştürürsek bir gramlık bir kütle elde ederiz.

Öyleyse neden enerjinin maddeye dönüşmesi olgusunu gündelik hayatta görmüyoruz? Örneğin neden iki elmayı çarpıştırdığımızda yeni elmalar, portakallar ya da değişik maddeler elde etmiyoruz? Aslında bu teorik olarak olanaksız değildir. Gündelik hayatta enerjinin maddeye ya da maddenin enerjiye dönüşmesini gözlemleyemememizin başlıca üç nedeni vardır:

Normal koşullarda enerji maddeye dönüşecek kadar yoğunlaşmış değildir. Madde elde etmek için, günlük hayatta karşılaştığımız enerjiyi milyarlarca kez yoğunlaştırmak gerekir.

Enerjinin maddeye dönüşmesi sonucu ortaya çıkan parçacıklar bizim göremeyeceğimiz kadar küçüktürler. Çevremizdeki parçacıklar (*elektronlar, protonlar, muonlar*) sürekli olarak çarpışmakta ve daha fazla miktarda parçacık ortaya çıkmaktadır (aynı zamanda yok olmaktadır), ama biz bunları kendi gözümüzle göremeyiz. Bunları ancak parçacık detektörleriyle saptayabiliriz.

Ayrıca bunlar birleşip görünebilir maddeler meydana getirebilecek kadar uzun yaşamamaktadırlar. Yaşam süreleri saniyenin milyar kere milyarda birinden azdır. Bunların çoğu tekrar enerjiye dönüşür ve bu enerji yeni parçacıkların ortaya çıkmasına yarar. Bu zincirleme dönüşüm kararlı parçacıkların meydana gelmesine kadar sürer. Bizim dünyamızı oluşturan her şey bu kararlı parçacıkların (*elektron, proton, nötron*) çeşitli kombinasyonlarından meydana gelir. Oysa yüksek enerjilerde yüzlerce farklı parçacık ortaya çıkar. İçinde yaşadığımız evrende madde adını verdiğimiz her şeyi (vücudumuz, gezegenimiz, güneş, yıldızlar, ...) oluşturan bu üç parçacık (esas olarak proton ve nötron) yaklaşık 13.7 milyar yıl önceki Büyük Patlamada ortaya çıkmışlardır.



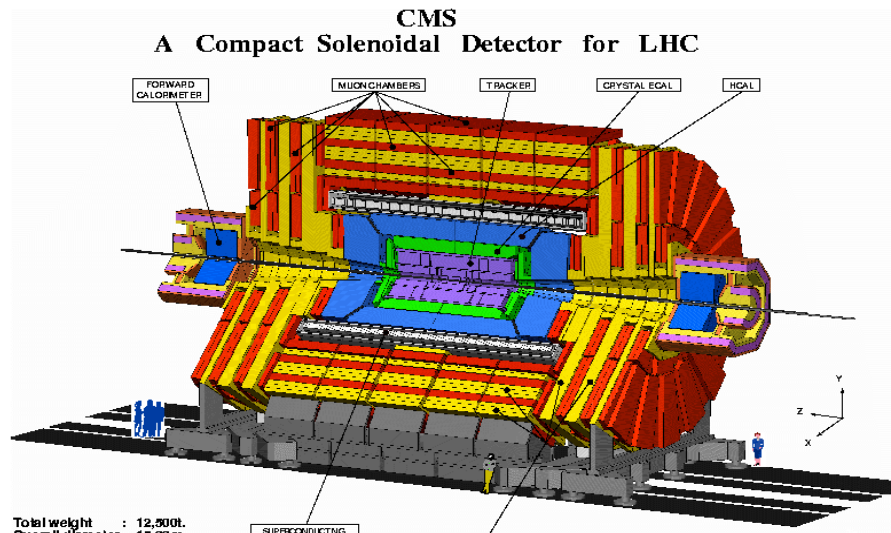


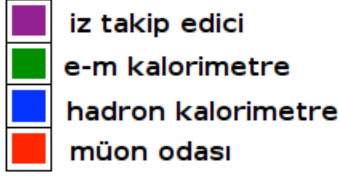
30 mart 2010' dan bu yana CERN' deki LHC hızlandırıcısında (Büyük hadron Çarpıştırıcısı), birbirine zıt yönde 3.5 'ar TeV enerjilerde yol alan protonlar 7 TeV kütle merkezi enerjilerinde kafa kafaya çarpıştırılmakta. Önümüzdeki 2 yıl boyunca, **saniyede 40 milyon kez** 7 TeV kütle merkezi enerjisinde çarpışacak olan protonlar daha sonra 7'şer TeV enerjiye yükseltilerek, **14 TeV** kütle merkezi enerjilerinde çarpıştırılacaklar.

Kütle, bir enerji biçimi olduğuna göre, daha ağır kütleli parçacıklar elde etmek için, düşük kütleli parçacıklar (LHC'de protonlar) hızlandırıcı içerisinde çok büyük kinetik enerji kazandırılarak çarpıştırılır. Bir parçacığın momentumu, dalga boyu ile ters orantılıdır. Parçacık hızlandırıcıları, bir parçacığın momentumunu arttırmak, dolayısıyla dalga boyunu azaltmak için kullanılır. Dalga boyu ne kadar küçük olursa, hedef hakkında o kadar çok bilgi edinilebilir. Hızlandırıcıda çarpıştırılan parçacıklar kazandıkları kinetik enerji ile yeni parçacıklar oluştururlar. Bu sayede ağır kararsız parçacık yaratılabilir ve özellikleri incelenebilir, parçacık bozunum ürünleri incelenerek bunlardan parçacıkların varlığı anlaşılabilir.

Değişik parçacıkları ve bozunum ürünlerini araştırmak için çok bileşenli detektörler tasarlanmıştır. Bir detektörün her bir bileşeni, farklı parçacıkların enerjilerini ve/veya momentumlarını dolayısıyla değişik parçacık çeşitlerini ayıklamakta kullanılır. Bütün bu bileşenler bir olayı incelemek için beraber çalıştıklarında, bir parçacıklar kümesi içinden belirli parçacıklar ayıklanıp incelenebilir. Çok miktardaki çarpışmalar sonucunda elde edilen bilgilerin toplanması, yorumlanması ve analiz edilmesi için gelişmiş bilgisayarlar kullanılır. LHC her 25 ns'de bir protonların çarpışmasına göre tasarlanmıştır. Bu saniyede 40 milyon çarpışma demektir. LHC' nin bir saat boyunca çalışması 144 milyar çarpışma demektir. Yıllarca sürecek LHC deneyinde gerçekleşecek çarpışmaları hesaplamak için sayılar yetmez. Neyse ki bütün çarpışmalar kaydedilmemektedir. İki aşamalı tetikleme sistemi sayesinde bu çarpışmalar ön elemelerden geçirilerek saniyede 100 çarpışmaya indirilmektedir. Bu bile çok yüksek bir sayıdır. Örneğin CMS gibi bir LHC detektöründe 1 milyon veri kanalı olduğunu düşünürsek, her saniye bu 1 milyon veri kanalından gelen 100 milyon verinin analiz edilmek üzere depolanması çok yüksek iletişim teknolojisi gerektirmektedir. Zaten bu amaçla GRID adı verilen bir Internet ağı tasarlanmıştır. Bu kadar yüksek miktardaki verileri bir yerde depolayıp aynı yerde analiz etmek pratikte mümkün olmadığı için, LHC'de toplanan veriler dünyanın çeşitli yerlerindeki GRID merkezlerine aktarılmakta ve analizler GRID üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Bir olay sonrası birçok parçacığın olduğu bölgelere yerleştirilen detektörler, çarpışmanın çeşidine göre değişik şekillerde inşa edilir. Parçacıkların ileri istikamete doğru gittikleri durumlarda, detektörler, parçacığın akış yönüne yerleştirilir. Çarpışan demetlerde ise parçacıklar birçok istikamete ayrıldıkları için küresel veya çoğunlukla silindirik biçimindeki detektörler kullanılır. Modern detektörler her biri bir olayın değişik yönlerini inceleyen ve üretilen parçacıklar hakkında en fazla veri elde edecek birçok değişik ekipmandan oluşur. Şekilde LHC'deki iki büyük detektörden biri olan CMS detektörünün kısımları gösteriliyor.





Şekil: CMS detektörünün iç yapısı

**İz Takip Edici:** Detektörün i bölgesi, yüklü parçacıkların izlerini kaydetmek üzere planlanmıştır. Bu kısım bir sürüklenme odası (iyonizasyon) ya da silikon şeritlerden (elektron-deşik çiftleri) oluşan bir malzeme olabilir.

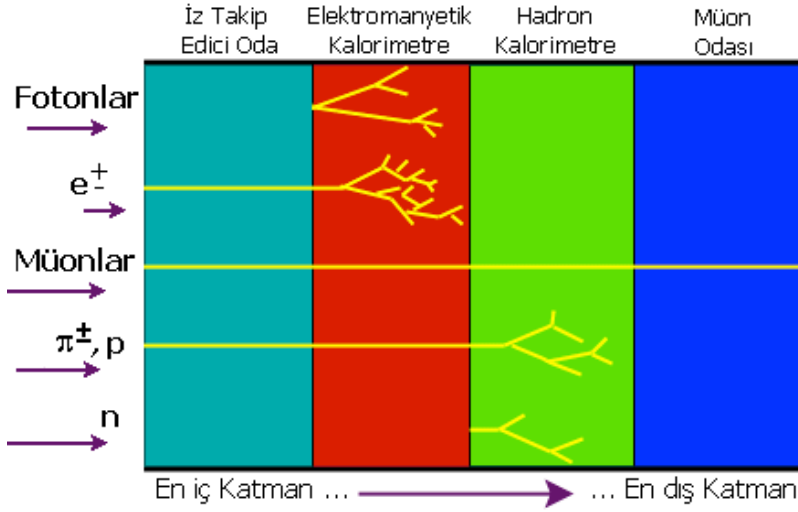
**Elektromanyetik Kalorimetre:** Bu kısım elektron, pozitron ve fotonların toplam enerjisini ler. Bu parçacıklar madde içindeki elektron/positron çiftlerini üretir. Elektron ya da pozitronlar atomların elektrik alanı ile saptırıldığında foton yayar. Fotonlar daha fazla foton yayan elektron veya pozitron çiftlerini üretir. Son elektron, pozitron çiftlerinin sayısı ilk parçacığın enerjisi ile orantılıdır.

**Hadron Kalorimetre:** Bu alet hadronların toplam enerjisini ler. Hadronlar bu madde içindeki yoğun madde ile etkileşir ve yeni parçacıklar oluşturur. Daha sonra bu parçacıkların depoladığı enerji ölçülür.

**Müon Odaları:** Sadece müonlar ve nötrinolar bu uzaklığa ulaşabilir. Monlar detektörde yarattıkları iyonizasyonla gözlenebilirler fakat zayıf etkileşimli nötrinolar bu bölmeden kaar. Nötrinoların varlığı ‘kayıp enerji’ ile belirlenir.

**Mıknatıs (resimdeki siyah kısım):** Manyetik alan içinde parçacıkların yörüngesi kavis çizer. Kavisin yarıçapı ve yönü, parçacığın momentumu ve yükü hakkında bilgi verir.

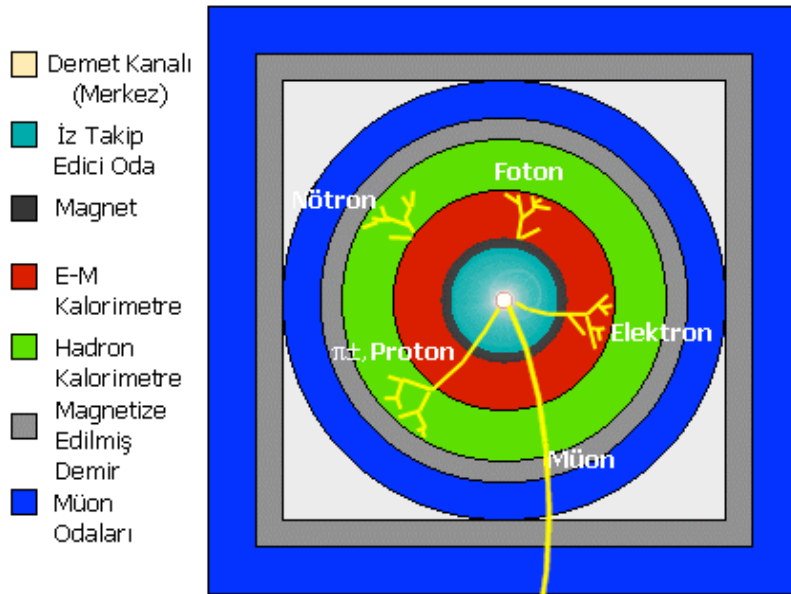
Aslında doğada 6 quark ve 6 lepton ile bunların karşıt parçacıkları olmak üzere toplam 24 temel madde paracıcıcığı varken, detektörde sadece bunlardan birkaçını gözlemek mümkündür. Ağır kuarklar ve leptonlar çok kısa sürede hafif kuarklara bozunduğundan bunları direk olarak gözlemek mümkün değildir. Öte yandan çeşitli kuark kombinasyonlarından meydana gelen mezon ve baryonların da sadece bir kısmı detektörde direk olarak gözlenebilecek kadar uzun yaşarlar. Başlıca 8 parçacığın ( bunlar kararlı ve hafif parçacıklardır) detektörün değişik bileşenleri ile etkileşmesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Nötrinolar maddeyle çok seyrek etkileşmeye girdikleri ve ancak kayıp madde ve enerji ile bulunabildikleri için üstteki resimde gösterilmemiştir. Bu tip parçacıklar, enerjinin korunumu ilkesinden “kayıp enerji” sinyali hesaplanarak dolaylı yoldan gözlemlenir.

Bir detektör ile bir parçacığın yükü ve momentumu ölçülebilir. Bunun için detektörün iç kısmı, özellikle iz takip edici kısım, güçlü manyetik alan içindedir. Artı ve eksi yüklü parçacıklar aynı manyetik alanda zıt yönde kavis çizeceklerinden yüklü parçacıkların işaretleri, parçacıkların izledikleri yollardan belirlenebilir. Yüksek momentumlu parçacık manyetik alanda, daha az momentumlu parçacığa göre daha büyük bir kavis çizer. Yani parçacığın izlerine bakılarak momentumları hesaplanabilir. Aynı zamanda parçacığın enerjisi de ölçülürse, özel görelilik denklemlerinden momentum ve enerjisi bilinen parçacığın kütlesi hesaplanır ve böylelikle parçacık tanımlanabilir. Tabii bu durum yüklü parçacıklar için geçerlidir. Foton ya da yüksüz pion gibi parçacıklar iz bulucu detektörlerde herhangi bir iz bırakmazlar. Aşağıdaki şekilde parçacıkların yollarını gösteren bir detektör kesit alanı görülmüyor.

### Parçacık Yollarını Gösteren Dedektör Kesit Alanı

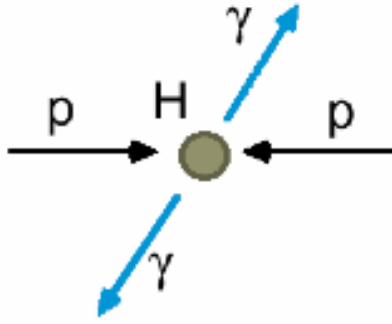


Bazı parçacıklar için, parçacığın detektörün neresinde gözüktüğüne bakılarak o parçacığın ne tür bir parçacık olduğu anlaşılabilir. Örneğin müon odasına kadar sadece müonlar ulaşabilir. Diğer parçacıklar detektörün maddesi içinde soğurulurlar, bütün enerjilerini bırakırlar. Dolayısıyla, müon odasında bir parçacığın enerji bıraktığını görürsek bunun müon olduğunu anlayabiliriz. Ancak öte

yandan, yüksek enerjili bir elektron, Elektromanyetik kalorimetreyi de geçip hadron kalorimetreye kadar ulaşabileceği gibi, düşük enerjili bir hadron da (örneğin bir pion), bütün enerjisini Elektromanyetik kalorimetrede bırakarak, lepton gibi davranabilir. Dolayısıyla detektörde parçacık tanımlaması yapmak kolay bir iş değildir. Toplanan verilerin titizlikle uzun uzun analiz edilmesini gerektirir.

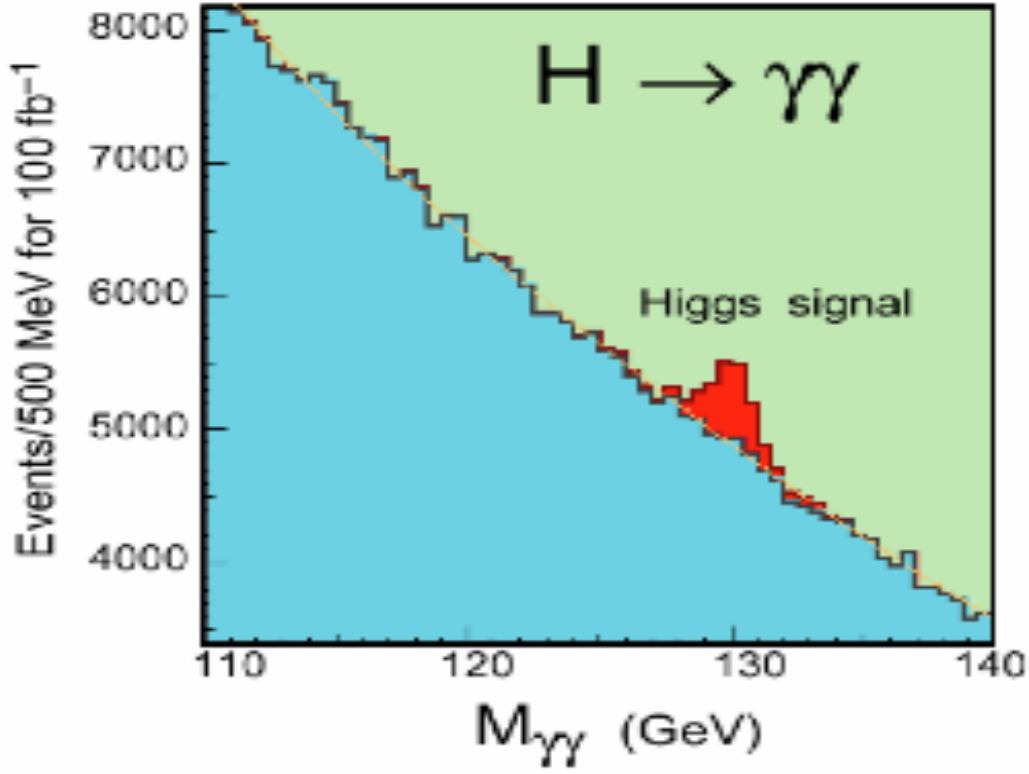
Higgs parçacığı da, yukarıda anlatıldığı gibi gözlemlenir, yani dolaylı olarak. Higgs bozonu saniyenin milyarlarca küçük bir kesiri kadar yaşar ve sonra başka parçacıklara bozunur. İşte bu bozunum kanalları incelenerek Higgs parçacığı saptanmış olur. Örneğin Higgs iki fotona bozunabilir. Şüphesiz iki fotona bozunan başka bir çok SM kanalı da vardır. Bunların arasından Higgs'i çekip çıkarmak için çok fazla sayıda proton-proton çarpışmasının incelenmesi gerekir. Nitekim Higgs'in şimdiye kadar gözlemlenememesinin en önemli nedenlerinden birisi de budur. Bütün mesele, sinyali ardalandan ayırmaktır.

Higgs'in iki fotona bozunma kanalını aşağıdaki çizimdeki gibi gösterebiliriz:



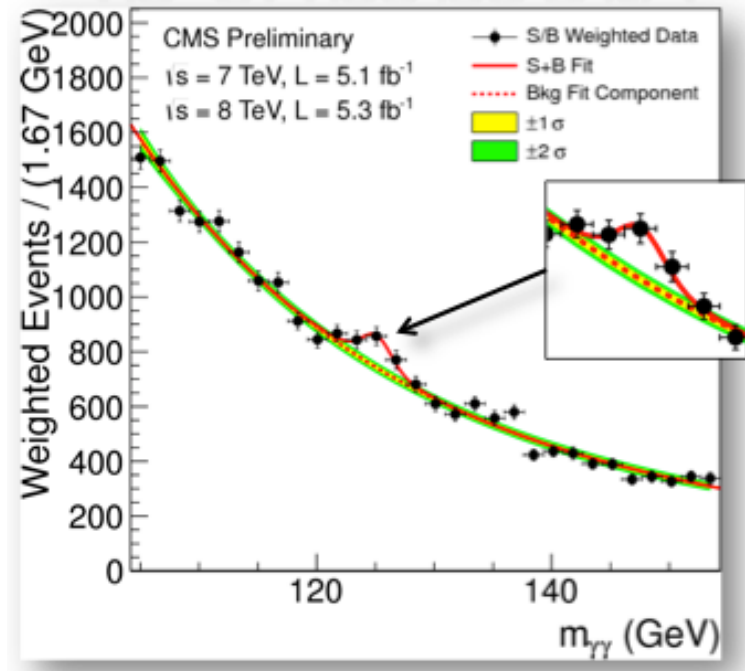
Şekil: Proton-proton çarpışmalarında nadiren ortaya çıkan Higgs hemen iki fotona (veya başka parçacıklara) bozunur.

Bu olayları, diğer ardalanan olayları ile birlikte bir Monte Carlo simülasyonu şeklinde gösterdiğimizde aşağıdaki grafiği elde ederiz. Bu grafikte x-ekseni iki fotonun değişmez kütlelerini, y-ekseni ise olay sayısını ifade eder. Kırmızı bölge, Higgs parçacığının rezonansıdır.



Şekil: Higgs sinyalinin ve ardalının sümülasyonu

1990'ların başından itibaren gerek LHC'den önceki LEP (Large Electron Positron Collider) hızlandırıcısındaki gerekse ABD'deki Fermi laboratuvarında bulunan Tevatron'daki deneylerin sonuçlarıyla Higgs'in kütlesine bir takım sınırlamalar getirilmişti ve bu kütlenin 100-150 GeV arasında olması bekleniyordu. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, LHC'de ölçülen Higgs kütlesi tam da bu beklenen aralıkta saptanmıştır.



Şekil: 4 Temmuz 2012'de açıklanan CMS deney verileri sonucunda Higgs parçacığının iki fotona bozunma kanalındaki rezonansı.

## Simetriler ve Birleşme kuramları:

Bu noktada simetriler üzerinde durmak yararlı olacaktır. Çünkü Higgs parçacığının keşfi fizikçilerin bir kez daha simetrilerin önemi konusunda ne kadar haklı olduklarını ortaya koymuştur. Alman matematikçi Hermann Weyl **simetri** için çok güzel bir tanım vermiştir: "Eğer bir nesne üzerinde bir şey yaptıktan sonra da nesne ilk hâlinde görünüyorsa, eğer nesnede bunu yapmaya imkân veren bir şey varsa, o nesneye simetriktir denir." İşte fizik kanunları da bu anlamda simetriktir. Fizikte **korunum kanunları** denince, fiziksel bir değişim geçiren kapalı bir sistemde ölçülebilen bazı niceliklerin sabit kalacağını ifade eden yasalar anlaşılır. Örneğin *enerjinin korunumu yasası*, kapalı bir sistemdeki her türden toplam enerji miktarının sabit kaldığını ifade eder (termodinamiğin I. Yasası). Bir diğer korunum yasası, bir cismin kütlesiyle hızının çarpımı olan momentumun korunumu yasasıdır. Bütün korunum yasaları bir simetriye işaret eder. Birbirleri ile etkileşen, ama Evren'in kalan bölümünden yalıtılmış olan bir parçacıklar topluluğu verildiğinde, bu topluluğu yöneten fizik yasalarının sağladığı her simetriye korunan bir büyüklük karşılık gelir. Korunan büyüklüğün değeri zamanla değişmez. Mekanda öteleme momentumun korunumuna, zamanda öteleme enerjinin korunumuna karşılık gelir.

Bizden çok uzakta bir galaksidedeki hidrojen atomunu ile dünyadaki bir hidrojen atomuyla aynı davranışı sergilemektedir ve bu iki uzak uzay parçasında kuvvet yasaları aynıdır. Üstelik, galaksiden gelen ışınların dünyaya ulaşması için geçen zamandan dolayı aslında biz galaksilerin milyonlarca hatta milyarlarca yıl önceki durumlarını algılamaktayız. Öyleyse uzayda olduğu gibi zamanda da bir tutarlılık yani simetri vardır. Uzay ve zaman simetrileri, evrenin temel ilkelerindedir. Genel anlamıyla, fizik kuramlarını simetriler çerçevesinde ele alan ayar teorileri, doğa kanunlarının tutarlılığını yani yerel olayların birbirinden çok uzakta olan olaylara (sistemlere) nasıl genelleştirileceğini inceleyen teorilerdir. Bu simetriler sadece uzay-zamanda değil bir çok başka temel özelliklerde de mevcuttur (örneğin **izospin** dediğimiz **proton/nötron** simetrisi gibi, uzayda veya zamanda yer almayan iç simetriler de vardır).

Doğadaki her simetri beraberinde bir korunum yasası getirir. Örneğin elektromanyetik etkileşmenin **U(1)** ayar simetrisine uyması sonucunda bu etkileşmenin şiddetini karakterize eden elektrik yükü korunur. Aynı şekilde zayıf etkileşmenin **SU(2)** ayar simetrisini göstermesi sonucunda **zayıf izospin** korunur. Parçacıkları sınıflandırmada da simetri özelliklerine bakılır. Kuarklar ve leptonlar gösterdikleri simetrilere göre çiftli ya da tekli yapıda bulunurlar. Zayıf ve kuvvetli izospin simetrilerini düşünelim, yeğın izospin sadece hadronları sınıflandırırken zayıf izospin simetrisi leptonları sınıflandırır. Proton ve nötron elektromanyetik etkileşmeler açısından sahip oldukları yükler nedeniyle farklı olduğundan elektromanyetik etkileşmeyi ihmal ettiğimizde yeğın etkileşmeler açısından proton ve nötron aynıdır. Bu da **yeğın izospin simetrisinin** varlığına işaret eder. **SU(3)** ayar grubuna karşılık gelen simetri ise kuarkların sahip olduğu **renk simetrisidir**. Bu simetriyi üç boyutlu bir uzaydaki dönme simetrisine benzetebiliriz. Üç boyuta karşılık gelen, kuarkların sahip olduğu üç farklı renk kuantum sayısıdır. Renk uzayında kuark etkileşmelerinin SU(3) ayar dönüşümleri altında değişmez kalması, farklı renkteki kuarkların etkileşmelerinin aynı olması anlamına gelir. Yani kırmızı renkli **u** kuarkla yeşil renkteki **u** kuark aynı biçimde etkileşirler. Renk simetrisi sadece kuarklara aittir ve bir iç simetridir. İşte Standart Model bu **U(1) SU(2)SU(3)** simetrilerinden oluşur.

1920'lerden bu yana biliyoruz ki evrenimiz genişlemekte. Genişlediğine göre çok eskiden çok küçüktü: Büyük Patlama adı verdiğimiz bu başlangıç noktası 13.7 milyar yıl kadar eski. Günümüzde evren  $10^{26}$  metre boyutlarındadır ve yaklaşık olarak  $10^{11}$  galaksiye,  $10^{21}$  yıldıza,  $10^{78}$  atoma ve  $10^{88}$  fotona sahiptir. Oysa başlangıçta evrende hiç madde yoktu ve bugün evrende var olan dört temel kuvvet, **kütle çekim kuvveti**, **elektromanyetik kuvvet**, **zayıf** ve **yeğın kuvvetler**, evrenin başlangıcında hep bir aradaydılar. Modern Kozmolojik Kurama göre evrende ilk

saniyelerde o kadar büyük bir sıcaklık vardı ki, tüm maddeler ayırt edilemez bir “**kuark çorbası**” durumundaydı. Evrenin yaşı bir saniyenin milyarlarca kere milyar kadar küçük bir kesiti kadarken kütle çekim kuvveti diğer kuvvetlerden ayrıştı, maddenin temel yapı taşları olan kuarklar ve leptonlar oluştu. Bir sonraki aşamada aniden genişleyen (**şişme dönemi**) evren hızla soğumaya başladı ve ilk nano saniyelerin sonunda, bugün her yerde karşımıza çıkan diğer üç temel kuvvet (elektromanyetik, zayıf ve güçlü kuvvet) birbirlerinden ayrıştı. Yukarıda anlattığımız Higgs mekanizmasına benzer bu sürece **kendiliğinden simetri kırınımı** diyoruz. Simetrisinin kırılması olgusu her yerde karşımıza çıkmaktadır.

Evrende bu ilk zamanlarda eşit miktarda **madde** ve **karşı-madde** vardı. Evren hızla soğudukça madde ile karşı-madde arasındaki **simetri bozuldu**. Elektronlar, pozitronlar, fotonlar, nötrinolar ve karşı-nötrinolardan oluşan başlangıç anı çorbasının sıcaklığı yüz milyar kelvin derecesiyken, bu yüksek sıcaklıklarda parçacıkların karşılıklı etkileşimde bulunmaları sürekli bir yaratılış ve yok ediliş süreci idi. Bu yüksek sıcaklıkta bir elektron ve pozitronun fotonlar şeklinde yok olması, fotonların bir elektron pozitron çifti yaratmak üzere çarpışması kadar olasıydı. Ancak bu başlangıç anı çorbasında, fotonların sayısının milyarda biri kadar küçük bir oranda **proton** ve **nötron kirliliği** vardı. Çorbadaki bu küçük öbekten tüm galaksiler ve yıldızlar ve nihayet gezegenimiz ortaya çıktı. İlk üç dakika geçtikten sonra, evrenin sıcaklığı küçük proton ve nötron kirliliğinin çekirdek halinde birleşmesine yetecek kadar düştü.

Başlangıçta evrende radyasyon (ışınım) hakimdi. Elektron, proton gibi maddenin temel yapı taşları yüksek sıcaklıklarda bir araya gelip atomu oluşturamıyorlardı. Radyasyon ve madde termal bir denge halindeydi. Evren yaklaşık 300 bin yıl yaşındayken, sıcaklığı 4000 kelvine kadar düştü (günümüzdeki sıcaklığın bin katı) ve protonlar hidrojen atomları oluşturmak üzere elektronlarla bağlandı. Bu dönemden kalan ve Penzias ile Wilson'un 1964' te keşfettikleri kozmik aralan mikrodalga ışınmasını (CMB) evrenin her yerinde görebiliyoruz. **COBE** ve **WMAP** uydularının bu fosil ışınım üzerinde belirlediği yoğunluk farkları Büyük Patlama kuramının en önemli kanıtlarından biridir. Daha sonra yapılan hassas gözlemler, aralan ışınımında bir derecenin 10.000'de biri ölçeğinde sıcaklık farkları belirlediler ve bunların madde yoğunluğundaki farklara karşılık geldiğini saptadılar. Bu salınımların büyüklüğü, evrenin başlangıcındaki **kuantum dalgalanmalarının**, şişme süreci sonucu şimdi gözlenen boyutlarına ulaşmış olabileceğini göstermektedir.

Maddenin evrimindeki temel ilke **simetrisinin kırılmasıdır**. Tamamen simetrik bir evrende atomların ortaya çıkması, yıldızların, galaksilerin oluşması imkansızdır. Atom altı parçacıkların birbirlerini yok etmeden var olabilmeleri için **madde/karşı madde simetrisinin** kırılması ve maddenin hakim olması gereklidir. Bu süreç de zamanın başlangıcında, evrenin ilk nano saniyelerinde meydana gelmiştir. İşte LHC deneyleri bu mekanizmanın nasıl gerçekleştiğini keşfetmeyi amaçlamaktadır. Bu konuyu açıklayan bir çok kuramın testi LHC deneylerinde yapılacaktır.

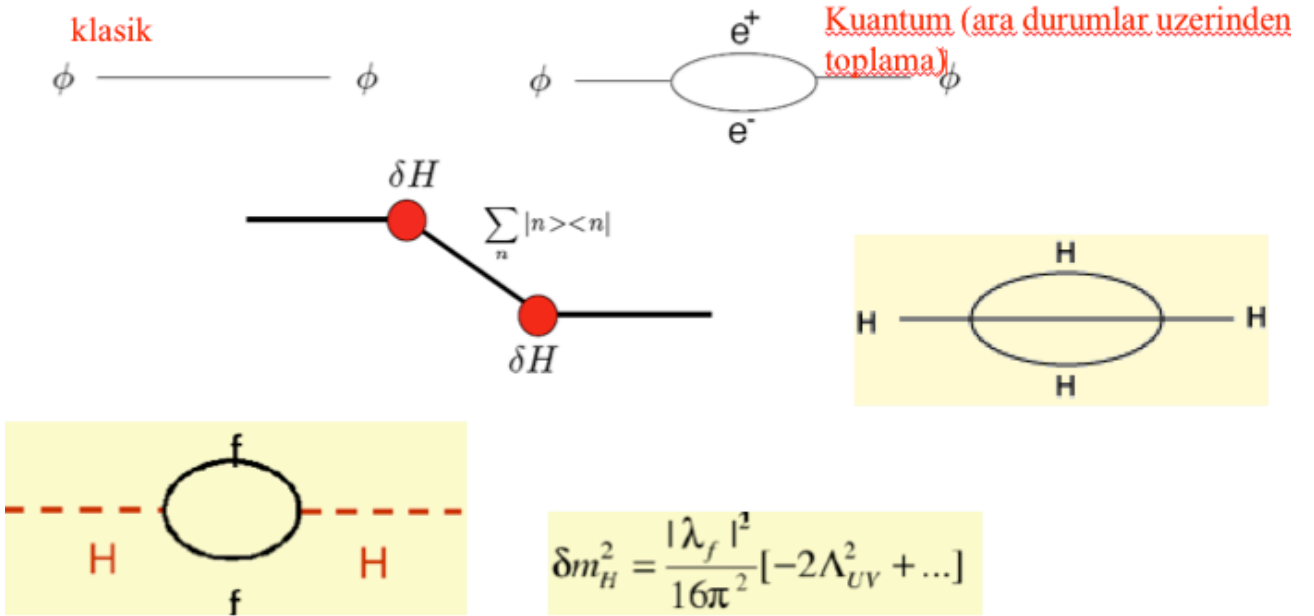
Geçen yüzyılın ortalarından bu yana yapılan çalışmalar göstermiştir ki elektromanyetik ve zayıf kuvvetler elektronun büyüklüğü civarındaki mesafelerde birleşip tek bir kuvvet yasasına, SM'in tarif ettiği elektrozayıf kuvvete dönüşmektedirler. Bu birleşme, sistemlerin enerjileri arttıkça simetrisinin de artmasından kaynaklanmaktadır. Daha açık bir deyimle, bu olay bir kare masanın gözümüzün algı sınırından daha hızlı döndürüldüğünde yuvarlak masa gibi görünmesine benzetilebilir. Gerçekten de bir kare masa sadece kesikli dönmeler altında değişimsiz (simetrik) kalırken yuvarlak masa küçük veya büyük her dönme altında değişmeden kalır. Bugün fiziğin en önemli sorunlarından biri kare masayı yuvarlak masaya tamamlayacak olan parçaların yani yeni parçacıkların kuramsal olarak öngörülüp deneysel olarak gözlenmesidir.

Kuramsal açıdan eksik parçaların bulunmasında temel kılavuz elektrozayıf kuvvet ile çekim kuvveti arasındaki hiyerarşik bağıntıdır. Şöyle ki kuantum etkileri altında elektrozayıf kuvvet kararlı davranmayıp kentilyon kere kentilyon kez küçülerek çekim kuvveti ile benzer büyüklüğe ulaşmaktadır. Dolayısıyla, eksik parçalar tamamlanırken birincil olarak gözlemlerle çatışan bu

karasızlık önlenmelidir. Bunu başaran kuramsal yapılar genel olarak küçük mesafelerde ek uzay boyutlarının varlığını öngörürler. Bu kuramlara göre, içinde yaşadığımız dört boyutlu uzay-zaman, yerini daha çok boyut içeren daha genel bir uzay-zamana bırakır. LHC deneylerinin amaçlarından biri de bu ek boyutları (ya da onların öngördüğü başka modelleri) test etmektir.

## Standart Model ötesi fizik araştırmaları ve Higgs

Tekrar SM ve Higgs'e dönersek, yukarıda bahsettiğimiz gibi, Standart Model' in, hiyerarşi problemi adı verilen, son derece ciddi bir kavramsal sorunu vardır. Standart Model kuarkların ve leptonların ve onların etkileşimlerinin yaklaşık  $10^{-17}$  metrelik bir ölçekteki tarifidir. Sorun şu ki, bir kuantum teorisinde her ölçekteki fizik diğer bir ölçekteki fiziğe katkıda bulunabilir, dolayısıyla bu iki ölçüğü bu denli ayrı tutmak tutarlı olmayabilir. Aslında Standart Model ölçüğü ve Büyük Patlama'daki Planck ölçüğü ( $10^{18}$  GeV) birbirine hayli yakın olmalıdır. Bu soruna bir başka bakış şekli, Standart Model' de elektronların, kuarkların, W lerin ve Z' lerin kütlelerinin ya sıfır ya da Planck kütlesi olması gerektiğini görmekten geçer. Oysa W bozonunun kütlesi ( $M_W$ ) 80 GeV ' dir. Standart Model' in deneysel öngörülerini açıkça etkilemeyen kavramsal bir sorun olsa bile, bu gerçekten de önemli bir sorundur. Sorunun iki parçası vardır. Birincisi, Standart Model ölçüğü ile Planck ölçüğü arasındaki bir ayrım olduğunu veri kabul edersek, Standart Model' in neden olduğu yerde (yaklaşık  $10^{-17}$  metrede) bitip, herhangi başka bir ölçekte sona ermediği sorusudur. ikincisi ve kavramsal olarak daha önemlisi, teorinin bu ayrımı matematiksel olarak tutarlı bir şekilde nasıl açıklayabileceği sorusudur. Süpersimetrik Standart Model ikinci sorunu çözer ve birincisine iç bakış sunar.



Şekil: Higgs parçacığının (H) kuantum düzeltmelerinin çok yüksek değerler alması SM'in en önemli sorunlarından biridir.

Aslında sorun SM'in bir etkin kuram olmasından kaynaklanır. SM belli bir eşik enerjisine (cutoff) kadar geçerlidir, daha sonrasında değil. 1950'lere kadar parçacık etkileşimleri kuramlaştırılırken bazı hesaplamaların sonucu sonsuza gidiyordu. Bu sorunu çözmek için renormalizasyon (yeniden boyutlandırma) adı verilen bir yöntem icat edilmişti. Etkin kuramlar

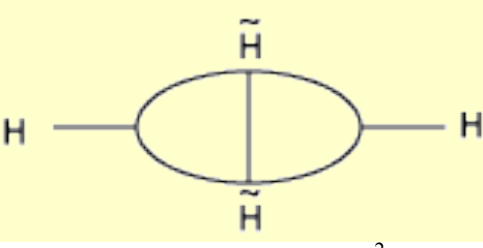


da buna benzer bir çözüm sunarlar. Daha büyük enerjilere gidildiğinde etkin kuramlar çökerler. Sorunu özetlersek, Standart Model' de, Planck ölçeği ile  $W$  (veya  $Z$ ) bozonunun oranı ( $M_P/M_W$ ) oranı çok büyüktür. Bu durum Higgs potansiyeline büyük zorluklar getirmektedir. Öyle ki, deneysel olarak, zayıf etkileşimlerin  $t$  kuarkının kütlesi (174 GeV) olduğu düzeyde,  $m_H^2$  yaklaşık olarak 100 GeV<sup>2</sup> değerini almalıdır. Oysa, Higgs alanına bağlanan parçacıkların sanal etkilerinin kuantum düzeltmeleri yüzünden  $m_H^2$  çok yüksek değerler almaktadır: Burada ultraviyole momentum eşiği (cutoff)  $M_P$  Plank düzeyindeyse, kuantum düzeltmesi  $m_H^2 \sim (100 \text{ GeV})^2$  değerini, onun 30' uncu kuvveti kadar aşmaktadır. Standart Model' deki kuarklar, leptonlar ve  $Z^0$ ,  $W_{\pm}$  ayar bozonları, kütlelerini Higgs sayesinde kazandıklarından, bu düzeltmelere karşı çok hassastır. Dolayısıyla,  $m_H^2$  terimi  $W$  bozonunun bağlandığı en ağır parçacığın kütlesine hassastır.

Temelde, bu sorunu aşmak için bilinen iki ana yol vardır: **Süpersimetri** ve **Çok-boyutlu Uzayzamanlar**. Süpersimetri, **fermiyonların bozonlarla** ya da tersine, doğru bir şekilde birbirleriyle değiştirildiğinde, Standart Model' in denklemlerinin değişmeden kalacağı fikrine dayanır. Süpersimetri bir fikir olarak, herhangi bir deneysel esrarı çözmek ya da herhangi bir teorik tutarsızlığı çözümlenmek için ortaya atılmamış, bilim tarihindeki başka fikirlerden farklı bir tarzda ortaya çıkmıştır. 1970' lerden bu yana, SUSY modelleri araştırıldıkça ve daha iyi anlaşıldıkça, teorisyenler onun gerçekten de parçacık fiziğindeki bir dizi önemli esrarı çözebileceğini ve başka gizemlere de yeni yaklaşımlar sunabileceğini fark ettiler. Pek çok fizikçi için, süpersimetrinin çözmek üzere yaratılmadığı problemleri çözmesi, doğanın tanımlanışının gerçek bir parçası olduğuna ilişkin önemli bir ipucuydu.

Bir önceki bölümde anlatıldığı gibi, fizikçiler parçacıkların kütlelerini Standart Model tanımının içine eklemleyebilmek amacıyla bir Higgs alanının varlığını önerdiler. Ayrıca bu alanın son derece özgül ve bir bakıma da esrarengiz bir şekilde etkileştiğini varsaydılar. Higgs fiziği çoğu fizikçi için Standart Model' in gizemli bir kısmıydı, kabul etmesi ve sınaması zordu. Buna karşılık teknik olarak, ortaya atılırken hedef alınan problemi çözüyordu. Diğer yandan, Standart Model' in ötesinde, Higgs fiziğine temel oluşturacak bir tür yeni fizik var olmak zorundadır, çünkü Standart Model parçacıkların kütlelerini tutarlı bir şekilde hesaba katmak için gerekli Higgs etkileşiminin bir açıklamasına hiçbir şekilde varamamaktadır. 1982 yılında bazı fizikçiler, eğer Standart Model süpersimetrik olacak şekilde genişletilirse, Higgs fiziği için zarif bir fiziksel açıklama sunabileceğini fark etti. Pek çok teorisyen için bu, süpersimetrinin sadece matematik değil, doğanın bir niteliği olduğunun delili varsayıldı. Hatta daha da önemlisi, Higgs fiziğine süpersimetrik yaklaşımın işleme için, tepe kuarkının (ki kütlesi 1995'e kadar ölçülmemişti) diğer kuark ve leptonlara kıyasla olağan dışı ağır olması gerekliydi. Tepe kuarkının ağır olduğunun öngörülmesi ve bir on yıl kadar sonra ağır olduğunun verilerle doğrulanması, Süpersimetri' nin geçerliliğinin güçlü bir dolaylı sınamıştıydı.

Eğer Higgs bozonu temel bir parçacıkta, iki seçenek vardır: İlki, çok gizemli bir şekilde, skalar Higgs alanına kuplaj yapan daha ağır herhangi bir parçacığın var olmaması gerektiğidir. İkinci seçenekse,  $m_H^2$  düzeltmelerinde bir şekilde birbirini götüren terimlerin olmasıdır.  $m_H^2$  düzeltmelerinde birbirini götüren terimlerin varlığı, ancak Süpersimetri gibi bir simetri ile olanaklıdır. Bu durumda fermiyonlar ile bozonları birbirlerine bağlayan bir simetrinin varlığı kaçınılmaz görünmektedir. Standart Model'in kuarkları ve leptonları iki kompleks skalarla (süpereşler) birlikte ortaya çıkarlarsa, tüm süpereşlerin daha hafif süpereşlere doğru bozulan kararsız parçacıklar olması beklenir; bunun istisnası en hafif süpereş (LSP)'dir; çünkü onun bozunup dönüşeceği daha hafif parçacığı yoktur, dolayısıyla kararlıdır. Bunun sonucu olarak **Süpersimetri** evrene yeni bir kararlı parçacık katar ve bu parçacık fotonlara, elektronlara, nötrinolara ve protonlara eklenir.



Şekil: Higgs'in süpereşleri  $m_H^2$  düzeltmelerinde birbirini götüren terimler eklenmesini sağlar.

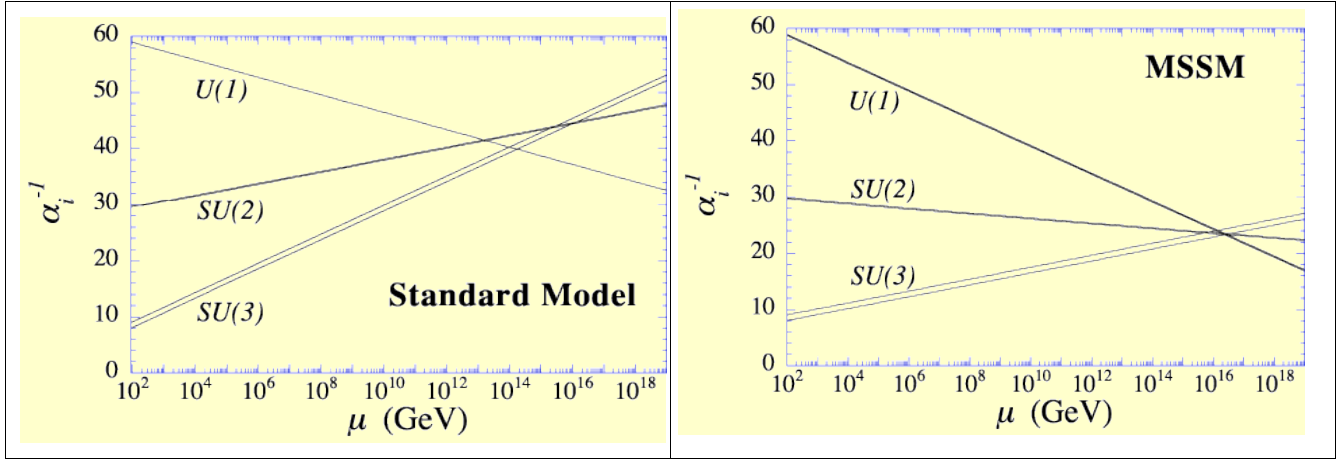
Yıldızların gördüğümüz ışığı fotonlardan oluşur. Protonlar ve elektronlar yıldızları ve gezegenleri oluşturur. Nötrinolar ve LSP (varsa) evren boyunca mevcut olan madde biçimleri olacaktır. Sadece zayıf ve kütleçekimsel kuvvetleri hissettiklerinden, elektromanyetik ya da güçlü kuvvetleri hissetmediklerinden, yıldızların oluşumuna katılmayacaklar, **kara madde** olacaklardır. **Süpersimetri**, LSP' den oluşan kara maddenin var olduğunu öngörür. Büyük patlamanın hemen sonrasında, her parçacık türünden yaklaşık olarak aynı sayıda vardı. Evren genişleyip soğurken çoğu parçacık daha hafif parçacıklar halinde bozundu ve kimileri de yok olarak diğerlerine dönüştü. Hepsinin nasıl etkileştiği hakkında bir teorimiz var, böylece şimdi geriye kaç tanesinin kaldığını hesaplayabiliriz. Görebileceğimiz fotonlar üreten yıldızlar halinde toplaşmış olmasalar da, yeterli miktarda olsalar görebildiklerimize uyguladıkları kütle çekim yoluyla varlıkları tespit edilebilir - varlıkları yıldızların galaksilerin içindeki hareket şeklini ve galaksilerin birbirine göre nasıl hareket ettiğini değişikliğe uğratar. 1980' lerin ilk yarısında Süpersimetri' nin, yıldızlardaki maddeden bile kayda değer ölçüde daha fazla LSP kara maddenin bulunması gerektiğini öngördüğü fark edildi. Gerçekten de, astronomlar evrenin kayda değer miktarda kara madde içerdiğini zaten gözlemlemişlerdi; çünkü yıldızlar ve galaksiler evren içerisinde, tek madde türü bizim görebildiğimiz madde olsaydı yapacakları şekilde hareket etmiyorlardı, ama o sırada kara maddenin sıradan maddenin ışıdamayan biçimleri mi (yıldızlar arası toz gibi) olabileceği, yoksa maddenin daha önce bilinmeyen bir türünün mü var olmak zorunda olduğu deneysel bakımdan bilinmiyordu. Süpersimetri aynı zamanda, yukarıda sözünü ettiğimiz Standart Model' de mümkün çözümü bulunmayan bir dizi başka önemli problemin çözümünde ya da açıklanmasına da yeni yaklaşımlara yol açmıştır. Süpersimetrinin yeni fikirler ve yaklaşım yöntemleri sunduğu temel konular arasında, evrenin nasıl olup da asıl olarak karşı-madde değil de madde halinde oluştuğu (CP simetrisinin ihlali), protonların bozunup bozunmadığı ve bozunuyorlarsa nasıl bozdukları, evrenin neden şimdiki yaşında ve boyutunda olduğu ve kuarkların ve leptonların bozunumlarının enderliği, yer alır.

Son olarak, eğer **süpersimetri** doğanın tanımlanışının bir parçası ise, bunun beraberinde getirdiği belki de en önemli sonuç, Planck ölçeğine, bu ölçekten bu denli uzak olan kendi dünyamızın içinden bakabileceğimiz bir pencere sunmasıdır.

### Büyük Birleşme Teorisi

Süpersimetri evrendeki kuvvetleri birleştirmeye aday bir teoridir. Bu tür teorilere Büyük Birleşme Teorileri (BBT) adı verilir. BBT 'nin temel felsefesi, *ayar simetrisinin enerji ile birlikte artması varsayımına* dayanır. Bu hipoteze göre, bütün bilinen etkileşimler, aslında bir ayar grubuna ait aynı etkileşimin farklı dallarıdır. Birleşme, yüksek enerjilerde ortaya çıkar. İki yüzyıl boyunca fizikçiler doğanın güçlerine ilişkin tariflerimizi birleştirmeye çalışmışlardır. Bir temel kuvvet yerine beş değişik kuvvetin varlığı, birleştirici birtakım ilkeleri görmezden geldiğimizi akla getiriyordu. Maxwell **elektriği ve manyetizmayı birleştirmeyi** başardı ve Standart Model de **zayıf etkileşimler** ile **elektromanyetik etkileşimleri** birleştirdi. Kuantum teorisinde, bir kuvvetin onu daha küçük mesafelerde (daha yüksek enerjilerde) inceleyebilecek olsak nasıl davranacağını hesaplayabiliriz. Kayda değer olan, bunu Standart Model' de

elektromanyetik, zayıf ve güçlü kuvvetler için yaptığımız zaman, bunların nihai olarak herhangi bir mesafede hiçbir şekilde eşitlenmeseler de, kısa mesafelerde gittikçe daha fazla birbirine benzer hale gelmesidir (şekil ). Daha da ilginç, bu inceleme 1980' lerin başlarında yapıldığı gibi süpersimetrik Standart Model ile tekrarlandığında, kuvvetler son derece küçük bir mesafede, yaklaşık olarak Planck ölçeğinin 100 katı mesafede, özünde eşit hale gelir. Bunun olması gerekmezdi, daha doğrusu Standart Model' de, kuvvetlerin eşitlenmesi gerektiğini içeren hiçbir şey yoktur.



**Şekil :** Süpersimetri hesaba katıldığı zaman, elektromanyetik, zayıf ve yeğin (nükleer) kuvvetlerin yüksek enerjilerde birleşmesi. Soldaki grafik Süpersimetrinin hesaba katılmadığı durumu gösteriyor. Sağdaki grafik ise Minimal Standart Süpersimetrik Modelin (MSSM) üç kuvveti birleştirme başarısı açıkça görülüyor.

Yukarıdaki şekilde, Standart Model' in ve Süpersimetri Modeli' nin bu üç bağlantı sabitini yüksek enerjilerde hangi noktalara taşıyabileceğini göstermektedir. Standart Model' in aksine, Süpersimetri üç bağlantı sabitini yaklaşık aynı noktada birleştirebilme olanağı sağlar. Bu da, Süpersimetri' nin varlığının en önemli gerekçelerinden biridir.

### Çokboyutlu Uzaylar :

Yukarıda bahsettiğimiz gibi, SM ötesi fizik modellerine bir alternatif de çokboyutlu uzaylardan gelir. Hiyerarşi probleminin nedeni kuantum genliklerinin hesabında keyfi derecede küçük mesafelere inilmesidir. Halbuki, SM'in üst geçerlilik sınırı olan 1 TeV civarında çokboyutlu, ek boyutların kabaca 1 mm veya daha kısa olduğu ve Newton çekim sabitinin bu civarda değer aldığı bir uzayzaman bulunması mümkündür ki bu durumda hiyerarşi problemi kendiliğinden ortadan kalkar. Bu türden yüksek boyutlu çekim kuramları çeşitli KM adayları da içerir.

Bu iki yol yeni fizik yasalarının alabileceği muhtemel şekilde hakkında ana çerçeveyi çizmektedir. Bununla birlikte, bu yolların her biri çözmeyi hedeflediği problemin benzeri başka doğallık problemlerini içermektedir ve bu bağlamda doğallık problemlerinden arınmış, mevcut deneysel sınırlamalarla uyumlu, doğa tarafından kabul edilebilir özellikleri haiz alt modellerin oluşturulup çalışılması gerekmektedir. Bu durum özellikle süpersimetrik modellerde kendini açık gösterir. Çokboyutlu uzayların bir takım özellikleri LHC deneylerinde test edilebilir, ancak sinyal çok zayıf olduğu için oldukça zor bir iştir.

## **CERN'deki LHC deneylerinde test edilemeyecek ya da test edilme olasılıkları çok zayıf olan kuramlar:**

Yukarıda özetlediklerimiz LHC deneylerinin temel amaçlarını oluşturmaktadır. Ancak bu dünyadaki bütün fizik kuramları demek değildir elbette. LHC'nin sınamayacağı ya da şimdilik sınama ihtimali bulunmayan pek çok başka kuram vardır. Bu kuramların hepsini bu yazıda özetlemek mümkün olmasa da, başlıcalarından kısaca bahsedelim. Daha ayrıntılı bilgiler kaynakçalarda yer almaktadır.

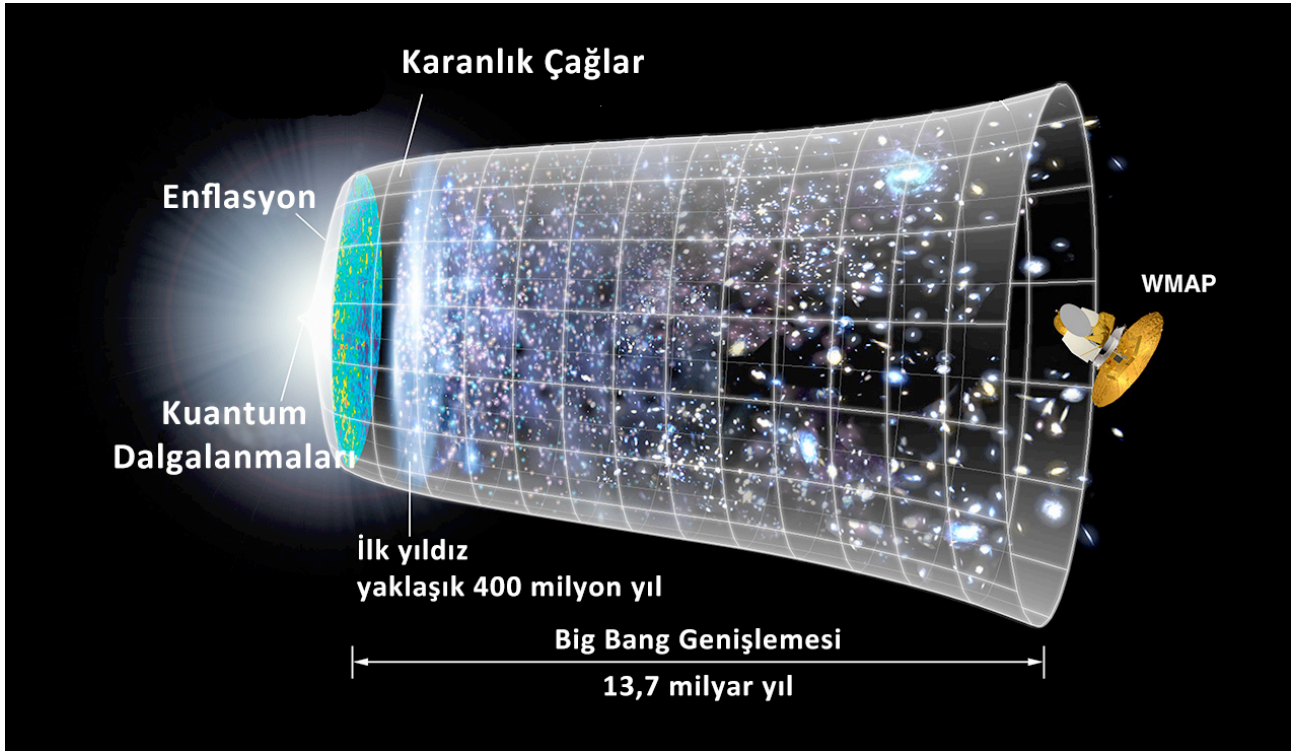
## **Her şeyin teorisi:**

Fizikçiler bugün Evren'de bulduğumuz tüm kuvvetlerin, yani kütleçekim, elektromanyetizma ve sadece çekirdek ve altı ölçekte işleyen iki kuvvetin ("yeğin" ve "zayıf" olarak isimlendirilen), çok yüksek enerjilerde işleyen tek bir süper kuvvetten ayrılmış olduğu konusunda hemfikirdirler. Ayrıştıkları nokta bus per kuvvetin hangi kuvvet olduğu konusundadır. 19'uncu yüzyılda, İskoç James Clerk Maxwell, daha önce oldukça farklı kuvvetler olduğu düşünülen hem elektrik hem de manyetizmayı tanımlamak için, onları bir pakette tek bir kuvvet (veya tek bir alan olarak), elektromanyetizmanın farklı yönleri olarak sayıp bir denklem dizisi keşfetti. Bundan sonra, 1970'lerde kuantum elektrodinamiği (QED) olarak bilinen, elektromanyetizmanın kuantum versiyonu, tatmin edici bir şekilde tek bir matematiksel pakette zayıf kuvvet ile birleştirildi. LHC deneylerinde test edilen modellerle yeğin kuvvetin "elektrozayıf" kuvvetle birleştirilmesi yakındır. Ancak en büyük sorun, kütleçekimi diğerleri gibi aynı matematiksel pakete yerleştirmektir. Bu yüzden kuantum kütleçekimi bugün araştırma dünyasının güncel bir konusudur. Bu gerçekleşirse Büyük Patlama anındaki tekilliklerden kurtulmak mümkün olacak ve evrendeki tüm kuvvet ve parçacıklar "Her Şeyin Teorisi"nde tek bir denklem dizisinde tanımlanabilecektir.

"Her Şeyin Teorisi"ne en yakın aday sicim teorisidir; ya da onun modern versiyonu olan M-teori. Bu kuram elektron gibi temel varlıkları matematiksel noktalar olarak kabul etmek yerine, onları sıradan "sicim" ismiyle adlandırılmış titreşen bir şeyin döngüleri olarak ele alır. Tıpkı tek bir gitar telinde farklı notalar çalabildiğiniz gibi, gergin bir lastiğin farklı yollarla titreştiğini düşünün. Bir titreşim, bir "nokta"ya, bir elektrona karşılık gelir, titreşimin başka bir kipi ise bir fotona denk gelebilir. Aynı tür bir varlık, tek bir tür sicim, dünyamızı oluşturan her tür parçacığın görüntüsünden sorumlu olabilir, foton gibi kuvvet taşıyan parçacıklar ile maddesel parçacık olarak düşündüğümüz şeyler de dahil. Biz dünyayı dört boyutta (üç uzay ve bir zaman boyutu) algılarız. Ama sicim konusunun her çeşitlemesinde denklemler sadece eğer sicimler çok daha fazla, en azından toplamda 11 boyut kapladığında çalışır (on uzay ve bir zaman boyutu). Aslında fikir 1920'lere, genel görelilik teorisinin keşfinden hemen sonrasına kadar gider. Theodor Kaluza ve Oskar Klein'in öncülük ettiği "Kaluza-Klein teorisi"nin çağdaş versiyonlarında aşına olduğunuz dört boyutu büyük ölçekteki olayların yaşandığı bir ortam olarak bırakmak için en az yedi uzay boyutunun dürülmesi veya sıkışması gerekir. Witten'in M-teorisi ise titreşen sicimler yerine, titreşen zarları koyar. Bir nokta bir 0-zar'dır, bir çizgi (veya sicim) bir 1-zar'dır, bir tabaka bir 2-zar'dır, ve görsellemesi zor olsa da, daha yüksek boyutlarda özdeş yapılar bulunmaktadır: 3-zar, 4-zar, vs. Ovrut, Steinhardt ve Turok bu kuramı evrenin başlangıç soruna bir çözüm olarak kullandılar ve Büyük Patlama'nın birbirine çarpan zar evrenler ile başlamış olabileceğini önerdiler. Ayrıntılarına bu yazıda giremeyeceğimiz bu kuramın detaylarını *Çoklu Evren*'lerde okuyabilirsiniz.

## Büyük Patlama ve Çoklu Evrenler:

Her şeyden önce, Büyük Patlama ile ilgili sık yapılan bir yanlışla dikkat çekmek gerekir. İçinde yaşadığımız evren sürekli genişlemektedir. Bu demektir ki çok uzun bir zaman önce (tam olarak 13.7 milyar yıl önce) evren çok küçük bir noktadaydı (bir atomdan daha küçüktü). Yapılan hesaplamalar, sıfır zamandan sonraki saniyenin on binde birinde bugün gördüğümüz Evren'in tüm içeriği atom çekirdeği yoğunluğunda sıcak bir madde yığına sıkıştığını gösteriyor. Ama bu noktada şimdiki fizik kuramlarımız işlemez oluyor. Henüz daha geriye giden tutarlı ve diğer her şeyi açıklayan bir kuram çıkmadı ortaya. Dolayısıyla günümüz fiziği "başlangıcı" açıklayamıyor. Ancak çok sayıda kuramlar var. Belki de bunlardan birisi başlangıcı (eğer varsa) açıklayacak. Örneğin bir kuantum kütleçekim kuramı ispatlanabilirse (örneğin M-teori ile), zamanın doğuşundaki tekillik sorunu çözülebilir. Çünkü kuantum fiziği bize zamanın diğer her şey gibi kuantize olduğunu söyler. Başka bir deyişle, zamanın bölünemeyen en küçük olası bir birimi vardır. Elbette bu temel zaman birimi çok küçüktür:  $10^{-43}$  saniye; ama bu sıfır *değildir*. Bu yüzden günlük yaşantımızda zamanın taneselliğini fark etmeyiz. Bu, herhangi bir tatmin edici kuantum kütleçekim teorisinin bize Evren'in sıfır zamanda sonsuz yoğunlukta ki bir tekillikten değil, çok yüksek bir yoğunluk durumunda (ama sonlu), kuantumun öncüsü Max Planck onuruna Planck zamanı olarak bilinen  $10^{-43}$  saniye yaşıyla başladığını söyleyeceği anlamına gelir.



Bunun ölçüm aletlerimizin kusurlu olmasından dolayı değil, evrenin işleyiş şeklinin temel bir özelliği olmasından dolayı olduğunu hatırlatalım. Kuantum fiziğindeki eşlenik değişken çiftlerinin en önemlilerinden biri enerji/zamandır. Kuantum belirsizliği elektron gibi bir nesnenin kesin bir enerjiye sahip olmasının imkânsız olduğunu söyler; ne kadar enerji taşıdığı hakkında hep biraz

belirsizlik vardır. Ama kuantum belirsizliği bize aynı zamanda boş uzayın bile enerjisinin kesin bir değere sahip olmasının imkânsız olduğunu söyler; oysa sıfır kesin bir değerdir. Kuantum fiziğine göre, boş uzay, yani vakum olarak düşündüğümüz şey aslında bu şekilde oluşmuş kısa ömürlü varlıkların kaynaşmasıdır. Onlar sadece teorik bir tahmin değildirlere; elektron gibi gerçek yüklü parçacıklar etrafındaki bu “sanal” parçacık bulutunun varlığı, elektrik ve manyetik güçlerin ölçülen kuvvetini açıklamada önemlidir. Bu nedenle belki de evren bir kuantum dalgalanmasından başka bir şey değildir. Üstelik bu kurama göre evrenin toplam enerjisi de sıfırdır: negative kütleçekim, maddenin pozitif enerjisine eşittir. Dolayısıyla başlangıçta büyük bir enerji patlaması olmamış, bir kuantum dalgalanması olmuştur.

İnsan beyninin elektron gibi kuantum varlıklarının gerçekten ne olduğunu anlaması için bir yol yoktur. Kuantum fiziği, cep telefonlarından DNA'ya kadar her şeyin nasıl çalıştığını açıklayabilse de, gerçekte neden böyle olduğunun cevabını veremez. Buradaki temel gizem de, bir elektronun iki delikten aynı anda geçmesi (diğer bir deyişle Schrödinger'in kedisini) paradoksudur. Hangi delikten geçtiğine baktığımızda elektronlar ekranda girişim deseni oluşturmazlar, yani belli bir duruma “çökerler”. Kopenhag yorumuna göre elektron gibi kuantum varlıklarının siz onlara bakmıyorken ne yaptıklarını sormak anlamsızdır. Ancak kuantum fiziğinin tek yorumu bu değildir. 1957 yılında Everett'le başlayıp, DeWitt'le devam eden ve en son Deutsch'un toparladığı bir diğer yoruma göre elektronun nerede olduğuna baktığımızda dalga fonksiyonu çökmez ama gözlemci de dahil tüm Evren bölünür. Üst üste binme durumları aslında Çoklu Evrenlerdir (Multiverse). Ayrıntılarına burada girmeyeceğiz bu kuramın (bkz. Gribbin'in *Çoklu Evrenler* kitabı) bir çok çeşitlemesi vardır. Çoklu Evrenlerde özel bir evren olmadığı gibi, tek bir Çoklu Evren modeli de yoktur. Belki de her bir karadelik başka bir evrene olan bağlantıdır. Konumuz açısından önemli olan nokta şudur ki, günümüz fiziği kesinlikle Evren'in Büyük patlama ile başladığını söylemez. Sadece zamanda 13.7 milyar yıl geriye gittiğimizde atomdan daha küçük ve çok sıcak bir evrenle karşılaşacağımızı söyler.

## **CERN'deki deneylerin sosyo-politik yönü**

Higgs bozonunun keşfi ile dünya medyasının gündemine oturan CERN'deki LHC deneylerinin bir de sosyo-politik yönü vardır. CERN'de dünyanın dört bir tarafından fizikçiler birlikte çalışarak Evren'i anlayışımızı derinleştiriyorlar. Durumu kısaca özetlersek: Altmış yıl önce içinde Peter Higgs'in de yer aldığı fizikçiler teorik olarak bir parçacıktan söz ediyor; devletler birleşiyor, insanlar Higgs Parçacığı diye ne olduğunu anlamadıkları bir şey için gelirlerinden bir kısmını bu işe yatıyor, dünyanın dört bir yanından bilim insanları olayı kavriyor, bir tek proje kapsamında 10 bin kişi çalışıyor, örgütlenerek her biri işin bir ucunu tutuyor ve sonuçta Higgs parçacığı keşfediliyor. Bu buluş türümüze, türümüzün dayanışmacı özelliklerine olan güvenimizi arttırmıştır.

İnsanlık tarihinde böyle başka bir olay yok. ABD bir yandan İran'ı bombalamakla tehdit ederken, Amerikalı ve İran'lı fizikçiler birlikte çalışarak Evrenin gizemini çözmeye çalışıyorlar. Örneğin en büyük iki LHC deneyinden biri olan CMS deneyinde dünyanın dört bir yanındaki 193 bilimsel kuruluştan iki bini aşkın fizikçi birlikte çalışmıştır. LHC deneyleri bilimin birleştirici yanını ortaya koymuştur. Irkçı düşünceler insanları böler, dini inançlar böler, ideolojiler böler; oysa bilim insanları birleştirir. Çünkü hepimizin aynı ilk hücreden geldiğini ispatlamıştır bilim. Bilimsel düşünmeyi öğrenmiş bir insan kendini başka insanlardan, hayvanlardan hatta herhangi bir canlıdan daha üstün göremez.

CERN'deki LHC deneyleri bize göstermiştir ki, Homo sapiens türümüz yüksek kolektivitelyi başarabiliyor. CERN deneyi sadece bir fizik deneyi olmaktan çıkıyor bu durumda. Aynı zamanda bu deneyi yapan insanlık hakkında bir deney halini alıyor.

## **Kaynakça**

- John Gribbin, *Çoklu Evrenler*, Alfa Yayınevi Bilim Dizisi, çev: Emin Karabal, 2012  
K. Ford, *101 Soruda Kuantum*, Alfa Yayınevi Bilim Dizisi, çev: Barış Gönülşen, 2012  
Gerard't Hooft, *Maddenin Son Yapıtaşları*, TUBITAK yay.  
Gordon Kane, *Süpersimetri*, TUBITAK yay., 2008  
M. Chown, *Biraz Kuantumdan Zarar Gelmez*, Alfa Yayınevi Bilim-Felsefe Dizisi, çev: Taylan Taftaf, 2011  
David ve Richard Garfinkle, *Üç Adımda Evren*, Alfa Yayınevi Bilim-Felsefe Dizisi, çev: Deniz Guliyeva, 2012  
Brian Greene, *Evrenin Zaaafeti*, TUBITAK yay., çev: Ebru Kılıç, 2011