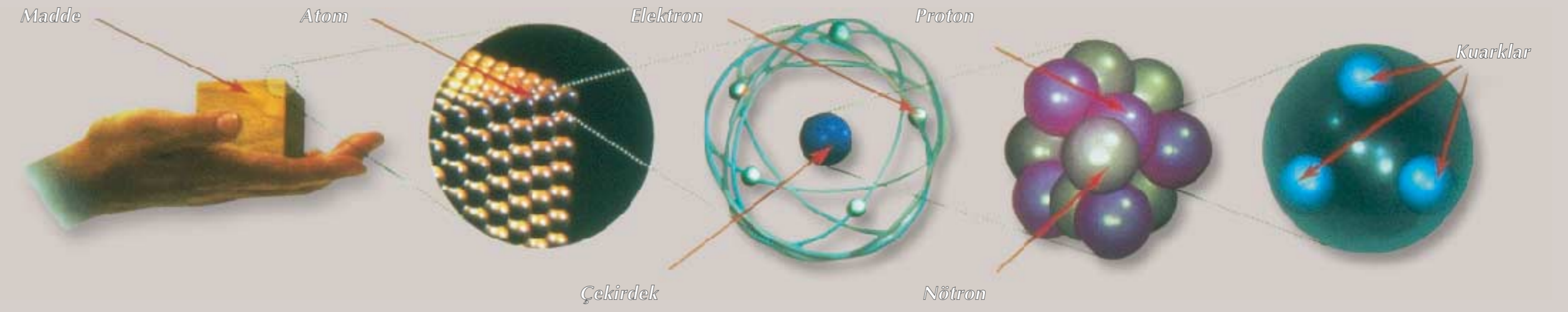
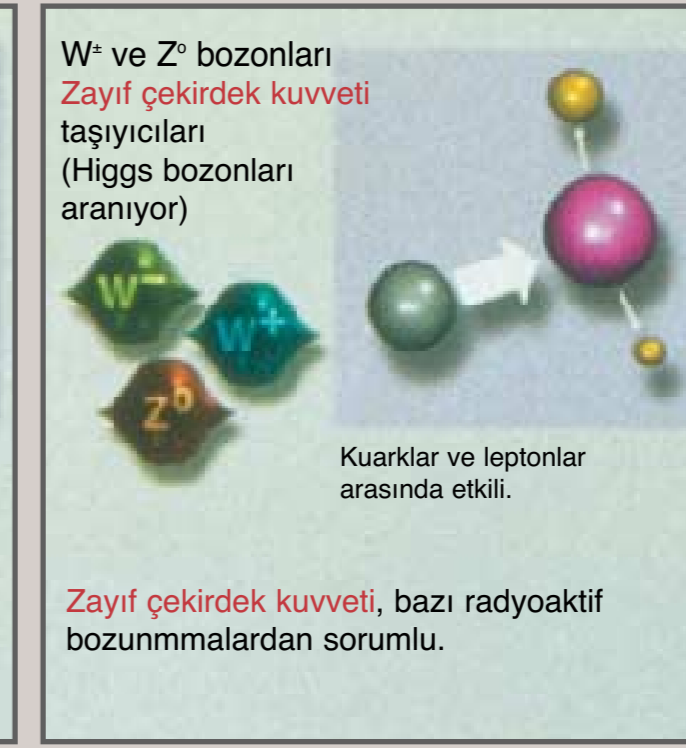


# Temel Parçacıklar



LEPTONLAR	
<b>1. AİLE</b> Elektron Elektrik yükü: -1 Elektriksel ve kimyasal etkileşimlerden sorumlu.	Elektron Nötrinosu Elektrik yükü: 0 Her saniye milyarlarca vücutumuzdan geçiyor.
<b>2. AİLE</b> Muon Elektrik yükü: -1 Elektrondan daha ağır ve kararsız bir parçacık. Ömrü saniyenin iki milyonda biri kadar.	Muon Nötrinosu Elektrik yükü: 0 Bazı parçacıkların bozunması sonucu muonlarla birlikte ortaya çıkıyor.
<b>3. AİLE</b> Tau Elektrik yükü: -1 Daha da ağır ve çok kararsız bir parçacık. 1975 yılında keşfedildi.	Tau Nötrinosu Elektrik yükü: 0 Henüz gözlenmedi, ancak varlığına inanılıyor.

KUARKLAR	
Yukarı Kuark Elektrik yükü: +2/3 Kütle: $4 \times 10^{-31}$ GeV/c <sup>2</sup> Protonda iki, nötronda bir adet bulunur.	Aşağı Kuark Elektrik yükü: -1/3 Kütle: $7 \times 10^{-31}$ GeV/c <sup>2</sup> Protonda bir, nötronda iki adet bulunur.
Tılsımlı Kuark Elektrik yükü: +2/3 Kütle: 1,5 GeV/c <sup>2</sup> 1974 yılında keşfedildi.	Garip Kuark Elektrik yükü: -1/3 Kütle: 0,15 GeV/c <sup>2</sup> 1964 yılında keşfedildi.
Üst Kuark Elektrik yükü: +2/3 Kütle: >89 GeV/c <sup>2</sup> 1994 yılında keşfedildi.	Alt kuark Elektrik yükü: -1/3 Kütle: 4,7 GeV/c <sup>2</sup> Elektrozayıf kuvvetin ölçülmesinde önemli rolü var.



## Evren'in Tarihi

Kuantum Kütleçekim  
geçen süre  $10^{-43}$  saniye

*Kütleçekim ayrılıyor. Elektromanyetik, zayıf ve şiddetli çekirdek kuvvetleri bir bütün olarak duruyorlar (Büyük Birleşim)*



$t < 10^{-43}$  s: Büyük Patlama

Evren, sonsuz bir enerji yoğunluğundaki tek bir noktadan başlayarak hızla genişlemeye başlıyor.

$t = 10^{-43}$  s,  $10^{32}$  K ( $10^{19}$  GeV,  $10^{34}$  m):

Kütleçekim "donuyor" Başlangıçta tüm madde parçacıklarıyla kuvvet taşıyıcı parçacıklar, bir termal denge içindeler (aynı oranda oluşup yok oluyorlar). Bu parçacıklar, (yani madde) fotonlarla (yani ışımla) bir arada, ayrılmamış aynı "çorba" içinde bulunuyorlar.

Bir "faz geçişi" sonucu, kütleçekim, elektromanyetik, zayıf ve şiddetli çekirdek kuvvetlerinden ayrılarak, bağımsız bir kuvvet olarak "donuyor". Öteki üç kuvvet, kuark ve leptonlar üzerindeki etkileri bakımından birbirlerinden farklıdır. Kütleçekiminin ayrılması, temel kuvvetler arasındaki ilk simetri bozulması.

Büyük Birleşme  
geçen süre  $10^{-35}$  saniye

*"Şişme" durdu; genişleme sürüyor. Büyük birleşme kırılıyor. Şiddetli çekirdek kuvvetiyle, elektrozayıf kuvvetin etkileri ortaya çıkıyor.*



$t = 10^{-35}$  s,  $10^{27}$  K ( $10^{16}$  GeV,  $10^{32}$  m): Şişme

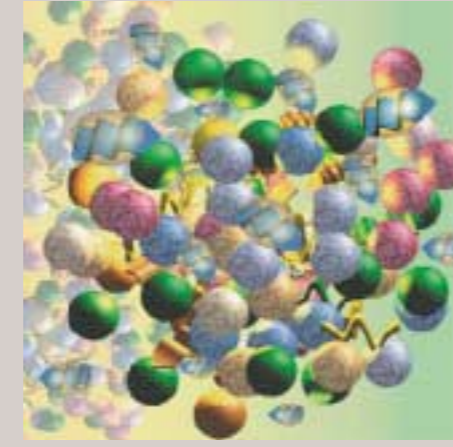
Evren'in genişliği her  $10^{34}$  saniyede bir katlanıyor. Şişme  $10^{-32}$  s sonunda duruyor. Evren  $10^{29}$  kat genişledi. Evren'in çapı, yaklaşık on milyon ışık yılına çıkıyor. Evren'in görülebilen bölümü ise üç m kadar. Bu, Evren'in iki ucunun, ışığın kendilerine yetmesinden önce neden aynı sıcaklıkta olmalarını açıklıyor. Şişme, Evren'i düzleştiriyor.

$t = 10^{-32}$  s : Şiddetli kuvvet ayrılıyor  
Yeni bir faz geçişiyle, şiddetli çekirdek kuvveti de bağımsızlaşıyor.

Madde ve karşı madde arasında, madde lehinde milyarda bir oranında fazlalık oluşuyor. Sıcaklık, hala kuarkların birleşmesine izin vermeyecek kadar yüksek. Temel parçacıklar, bir kuark gluon plazması halinde bulunuyorlar.

Elektrozayıf Dönem  
geçen süre  $10^{-10}$  saniye

*Elektromanyetik ve zayıf çekirdek kuvvetleri başlangıçtaki birleşik kuvvetten ayrılıyorlar.*



$t = 10^{-10}$  s,  $10^{15}$  K (100 GeV,  $10^{18}$  m) :

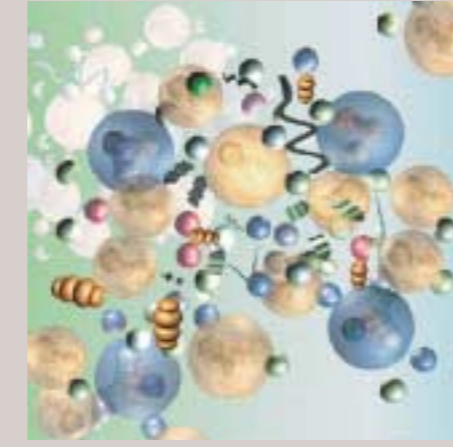
Evren hızla genişlemeye devam ediyor. Sıcaklık, "termodinamik" kuralları uyarınca düzenli biçimde azalıyor. Sonunda zayıf çekirdek kuvveti de "donarak" bağımsız biçimde etkinleşen bir kuvvet haline geliyor.

Doğanın dört temel kuvveti de hareketlerinde bağımsız hale gelmiş oluyorlar. Kuarklarla, antikuarlar birbirlerini yok ederken geriye küçük oranda bir madde fazlası kalıyor. Elektrozayıf kuvveti taşıyan parçacıklar olan W ve Z bozonları bozunuyor.

Bu süreç içinde sıcaklık, kara cisim ışımlarından kaynaklanan fotonların bir madde-karşı madde çifti yaratacak enerjiyi yitirdiği noktaya kadar düşüyor. Sonunda Evren'in sıcaklığı bu kritik noktanın altına düştüğünde, başlangıçta ortaya çıkmış olan büyük kütleli kararsız parçacıklar yok oluyor.

Proton ve Nötronlar  
geçen süre  $10^{-4}$  saniye

*Kuarklar birleşip proton ve nötronları oluşturuyorlar*



$t = 10^{-4}$  s,  $10^{15}$  K (1GeV,  $10^{16}$  m):

Evren'in gözleyebildiğimiz kısmı Güneş Sistemimizin boyutlarına kadar büyümüş durumda. Sıcaklık azaldıkça kuarklarla antikuarların birbirlerini yok etmesi süreci sona eriyor. Arta kalan kuarklar proton ve nötronları oluşturuyorlar.

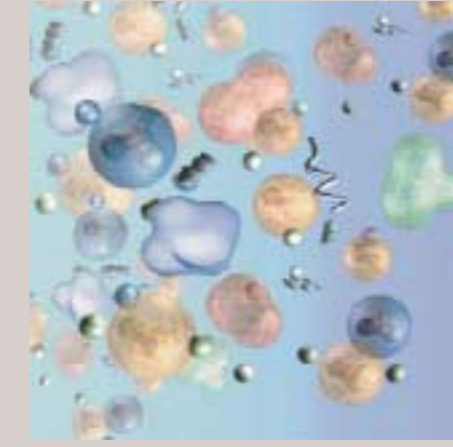
$t = 1$  s,  $10^{10}$  K (1MeV,  $10^{11}$  m): nötrinolar ayrılıyorlar

Elektrik yüksüz parçacıklar olan nötrinolar etkisiz hale geliyorlar. Elektron ve pozitronlar birbirlerini yok ediyor ve yeniden oluşmuyorlar. Ancak fazladan bir miktar elektron kalıyor.

Protonlar, daha ağır olan nötronlara göre çok daha kararlı parçacıklar. Bu nedenle aralarındaki denge sürekli olarak proton lehine geliyor. Bu iki parçacık arasında, 50:50 olan oran bu evrede 25:75 durumuna geliyor.

Çekirdeklerin Oluşumu  
geçen süre 100 saniye

*Proton ve nötronlar birleşip helyum çekirdeklerini oluşturuyorlar*



$t = 3$  dakika,  $10^9$  K (0.1 MeV,  $10^{12}$  m): Çekirdekler oluşuyor

Artık sıcaklık, çekirdeklerin oluşmasına izin verecek kadar düşük. Evren'deki koşullar, günümüzde yıldızların merkezlerindeki, ya da termonükleer bombaların patlama koşullarını andırıyor. Döteryum (ağır hidrojen), helyum ve lityum gibi görece ağır çekirdekler, varolan nötronları yakalıyorlar. Artakalan nötronlar da yaklaşık 1000 saniye içinde bozunuyorlar. Nötron-proton oranı 13:87'ye iniyor.

Evren'in yapısı büyük ölçüde tamamlanmış oluyor. Temel olarak protonlardan (% 75) ve helyum çekirdeklerinden oluşuyor. Sıcaklık, hala atomların oluşmasına izin vermiyor. Elektronlar, serbest parçacıklardan oluşan bir gaz durumunda.

Atomlar ve Işık  
geçen süre 300 000 yıl

*Evren şeffaflaşır, ışıkla doluyor*



$t = 300\ 000$  yıl, 3000 K (0.5 eV,  $10^{10}$  m): atomlar oluşuyor.

Eksi elektrik yüklü elektronlar, artı yüklü proton taşıyan çekirdeklere bağlanmaya başlıyorlar. Sonunda hafif element diye adlandırılan hidrojen, helyum ve lityum atomları oluşuyor. Işınmın, artık atomları parçalayabilecek enerjiden yoksun.

Evren "çorba"sında eskiden serbestçe dolaşan elektronlar, atomlara bağlandıkları için, sürekli bunlara çarpıp saçılan fotonlar, artık serbestçe yol alabiliyorlar.

Böylece evren şeffaf hale geliyor. Bunun sonucu ışınmın yerine madde yoğunluğu başat hale geliyor.

Gökbilim, (ancak ışığı görebildiği için) Evren'in oluşum tarihinde ancak bu noktaya kadar geri gidebiliyor.

Gökada Oluşumu  
geçen süre 1 milyar yıl

*Gökadalar ortaya çıkmaya başlıyor*



$t = 10^9$  yıl, 18 K : Gökada Oluşumu.

Kütle yoğunluğunda küçük ölçekli yerel oynamalar, yıldız ve gökada oluşumu için tohum işlevi görüyor. Önceleri, belli belirsiz yoğunluk dalgalanmaları olarak ortaya çıkan farklar, şişme süreciyle hızla boyut kazanıyorlar. Yine de mekanizma hala tam olarak bilinmiyor. Çekirdek sentezi, yani karbondan başlayıp demire kadar olan ağır çekirdeklerin oluşması süreci, termonükleer tepkimelerle, yıldızların içinde başlıyor.

Bu süreç uzun sürüyor; bazı elementler, milyonlarca hatta milyarlarca yılda oluşuyor. Yıldızların çöküşü ve süpernova patlamaları sırasında anlık süreçlerde daha da ağır elementler sentezleniyor.

Bugün  
geçen süre 15 milyar yıl

*İnsan, nereden geldiğini merak etmeye başlıyor*



$t = 15 \times 10^9$  yıl, 3K : İnsanlar

Sonunda günümüze geldik. Kimyasal süreçler, bağımsız atomları bir araya getirerek moleküllerin oluşmasını sağlıyor. Elektronların bir arada tuttuğu bu yapılar, giderek daha da büyüyerek, organik molekül dediğimiz daha karmaşık yapılara dönüşüyor.

Sonunda bu organik moleküller, dış etkenlerin de yardımıyla kendilerini kopyalamanın yolunu öğreniyorlar. Yıldız tozları ve karmaşık şifreler (DNA), yaşamı sentezliyor.

Dört milyar yıl süren uzun bir evrim sonunda, rastlantıların yadsınamayacak katkılarıyla Dünya'ya egemen olan insan, çevresindeki evreni incelemeye başlıyor.



# Fizikte Birleştirme Kuramları

## Klasik Alan Kuramları

### Elektromanyetizma

19. yüzyılda, fiziğin en önemli uğraş alanlarından olan elektrik ve manyetizmanın, aslında birbirleriyle doğrudan ilişkili olduğu James Clerk Maxwell'in çalışmalarıyla gün yüzüne çıktı. Maxwell, kendi adıyla anılan

"Maxwell Denklemleri"nde özetlediği çalışmasında, elektrik ve manyetizma olgularını tek bir "elektromanyetizma" kuramında birleştirdi. Bu, aynı zamanda elektromanyetik dalga kuramının da başlangıcı oldu.

### Kütleçekim Kuvveti

Kütleçekim, temel kuvvetler arasında en zayıf olanı. Ufacık bir mıknatıs bile, koskoca dünyanın çekim gücünü alt ederek masamızın üzerindeki bir toplu iğneyi kaldırabiliyor. Buna karşın, en uzak erimli kuvvet. Dünya'nın,

Güneş'in, Samanyolu'nun, gökada kümelerinin etkileşimini kütleçekim yönetiyor. Düz (Euclides) geometrisinin geçerli olduğu eski Evren modelinde kütleçekimin etkilerini, İngiliz matematikçi Isaac Newton kuramsallaştırdı. Ortaya koyduğu yasalar, küçük ölçekte (Evren'in bu ölçekte düz görünen biçimi nedeniyle) geçerliliğini koruyor. Ama kütleçekimi çok daha başarılı biçimde açıklayan Alman matematikçi ve fizikçi Albert Einstein (1879-1955). Genel görelilik yasasıyla (1916) Einstein, kütleçekimin, uzay-zamanın eğriliğinden kaynaklanan bir etki olduğunu kanıtladı. Bu kuvveti, henüz gözlenememiş graviton adlı bir parçacığın taşıdığı varsayılıyor. Evren'in başlangıcında birleşik dört kuvvetten ilk kopan, kütleçekimi. Bu nedenle dört kuvvetin yeniden

özdeşleşmesi için neredeyse Büyük Patlama şiddetinde enerjiler gerekiyor.

## Kuantumlu Alan Kuramları

### Şiddetli Çekirdek Kuvveti

Şiddetli çekirdek kuvveti, atom çekirdeği içinde nükleonları (protonlar ve nötronlar) birarada tutan temel kuvvet. Nükleonların şiddetli etkileşiminde, mezon adlı parçacık alışverişi olur. Kuramı geliştirenler, 1932 yılında nükleonların varlığını öne süren Alman fizikçi Werner Heisenberg (1901-1976) ve mezonların varlığını ortaya koyan Japon fizikçi Hideki Yukawa (1907-1981).

### QED

Maxwell'in kuramından sonra, elektromanyetik kuvvetle ilgili en önemli adım, etkileşimin daha başarılı bir modeli olan kuantum elektrodinamiği (Quantum Electrodynamics-QED). QED, kısaca, elektrik yüklü parçacıklarla elektromanyetik alanın etkileşim kuramı. QED, Amerikalı fizikçiler Richard P. Feynman ile Julian S. Schwinger (1918-1994) ve Japon Shin'ichiro Tomonaga (1906-1979) tarafından 1940'ların sonunda tamamlandı. Işığın kuantum kuramı olarak da adlandırılan QED,

elektromanyetik kuvveti taşıyan kütleli fotonların, yüklü parçacıklarla etkileşmesini açıklıyor. Etkileşimlerdeki, foton alış-verişi Feynman diyagramlarıyla gösteriliyor.

### Zayıf Çekirdek Kuvveti

Temel parçacıklar arasında etkili olan zayıf çekirdek kuvvetinin etkin olduğu aralık çok kısa. Kütleli kuark ve leptonlara, daha hafif kuark ve leptonlara bozunmasından sorumlu bu kuvvetin taşıyıcı parçacıkları  $W^+$  ve  $Z^0$  bozonları. Zayıf kuvvet ayrıca, leptonlar (elektronlar ve nötrinolar) arasındaki tepkimeleri düzenliyor. Modelin oluşmasında önemli iki adım, Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli'nin (1900-1958) 1932 tarihli nötrino kuramı ve İtalyan fizikçi Enrico Fermi'nin (1901-1954) 4-fermiyonlu zayıf etkileşimler modeli.

### QCD

Kuantum Renk Dinamiği (Quantum Chromodynamics-QCD), şiddetli etkileşimi, temel parçacıkların "renk" ve "tat"larıyla açıklıyor. Kuarklarla, şiddetli kuvveti taşıyan gluonlar renk yüküne sahip. ABD'li fizikçi Murray Gell-Mann (1929-) tarafından 1972 yılında son biçimi verilen modele göre nükleonlarla, mezonlar, üç "renk" (kırmızı, mavi ve yeşil) ve altı ayrı "tat" taşıyan kuarktan oluşuyorlar. Kuarklar, yukarı ve aşağı, garip ve tılsımlı, alt ve üst diye ayrılıyor. Bunlar, üçlü gruplar halinde proton ve nötronları oluşturuyorlar. Mezonlarsa birer kuark ve antikuaraktan oluşuyor. Bu birleşimlerde, kuarkların üstüste gelen renkleri "silindiğinden" proton ve nötronlar "renk yükü" taşıyorlar. Gluonlar ve mezonlar renk yükleriyle şiddetli kuvveti taşıyorlar. Doğada gözlenen parçacıkların renk yükü taşımayacaklarını Japon fizikçi Yoichiro Nambu (1921-) öne sürdü.

### Elektrozayıf Kuvvet

Elektromanyetik ve zayıf çekirdek kuvvetleri, 1960'lı yıllarda özdeşleştirildi. Bu alanda çalışmalar yürüten

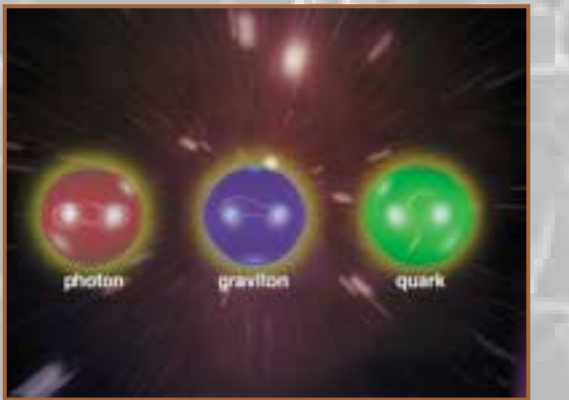
Pakistanlı fizikçi Abdus Salam (1926-1997) ve ABD'li Steven Weinberg (1933-) ile Sheldon L. Glashow (1932-), 1979 yılında Nobel ödülünü paylaştılar. Elektrozayıf kuramı, elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı olan fotonlarla, çekirdek bozunmasından sorumlu zayıf kuvvet taşıyıcıları bozonların 100 GeV enerji düzeyinde özdeş etkiler kazanmasını açıklıyor. Etkileşimde, fotonlarla bozonlar, (henüz gözlenmemiş) Higgs parçacığı aracılığıyla kütle kazanıyorlar.

## Herşeyin Kuramı

### Sicim Kuramı

Sicim kuramı, dört temel kuvveti özdeşleştirmede, diğerlerine göre daha başarılı bir kuram.

Parçacıklar, standart modelde uzay-zamanda ayrık "noktalar" halinde tanımlanıyor. Oysa sicim kuramı, tüm parçacıkları, sürekli titreşim içinde bulunan bir görelilik sicim olarak betimliyor. Sicimin değişik titreşimleri, değişik madde ve kuvvet parçacıklarına karşılık geliyor. Bilinen her parçacığın bir "süper karışı" olduğunu varsayan süpersimetri modellerini de içeren süpersicim kuramı, dört kuvveti özdeşleştiren en başarılı kuram. Yalnız bu, bildiğimiz dört boyuta (üç uzay ve bir zaman boyutuna) ek olarak 6 uzay



boyutu daha gerektiriyor.  $10^{19}$  GeV gibi erişilmesi olanaksız enerji düzeylerinde birleşme sağlayacak sicim modellerinde en önemli katkılarda bulunanlardan birisi Amerikalı fizikçi Edward Witten (1949-).