

## **Doğanın Geometrisi: Herşeyin Kuramına doğru**

Modern fizik 1867’ de başladı. Bu tarihte Isaac Newton basit sarkaçtan devasa gök cisimlerine bilinen ne varsa hepsini aynı fizik yasasının içinde birleştirmeyi başardı. Bundan böyle makinaların gezegenlerin uyduların gemilerin ve çok sonra icat edilen uçakların ... aklımıza ne gelirse hemen hepsinin hareketini bu yasayla hesaplayabilecektik. Newton’ un kütle çekimini açıklayan yasası büyüklü küçüklü tüm cisimler için geçerliydi ve tamamı kısacık 3 satırdan ibaretti:

1. Bir cisme dışarıdan kuvvet etkemediği sürece o cisim hareketini (veya hareketsizliğini) korur.
2. Bir cisme etkiyen kuvvet, cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir.
3. Her etkiye eşit büyüklükte, zıt yönde bir tepki oluşur.

Newton’ dan beri “birleşme”, fizikte önemli rol oynuyor. Farklı olduğunu düşündüğümüz olaylar, çoğu zaman aynı yasanın farklı görünüşleri çıkıyor. Örneğin 19. yüzyılda, James Clerk Maxwell’ den önce, elektrik ve manyetizma yasaları arasında bir ilişki olmadığı düşünülüyordu. Maxwell geldi, bu ikisini birleştirip elektromanyetik kuramı oluşturdu. Bundan yaklaşık 100 yıl sonra bir sürpriz daha: Elektromanyetizma ile zayıf kuram birleşerek elektro-zayıf kurama dönüştü.

Kuramları birleştirme, bir araya getirme çabasının pratik, estetik ve felsefi nedenleri var. Kuramları birleştirmeye evreni daha iyi anlıyoruz, üstüne bir de yeni yasalar keşfediyoruz. Örneğin CERN’ deki LHC hızlandırıcısında, birleşmiş elektro-zayıf kuramın öngördüğü yeni olguları arıyoruz..

### **Her cinsten fizikçinin en büyük düşü, bilinen fiziksel olguların tümünü güzel bir matematik yapı altında, anlamlı bir bütün halinde görebilmek.**

Kütle-çekim dışında kalan tüm kuvvetleri (elektromanyetik, zayıf ve yeğin kuvvetler) içine alan, hızlandırıcılarda yapılan deneylerle şekillenen Standart Model 1970’lerde ortaya çıktı. Bu kuram kuvvetleri ve parçacıkları matematiksel Lie grupları ve fiber demetleri denen geometrik nesnelere halinde betimliyor. Ama bir kusuru var: Her kuvvete karşılık gelen geometrik nesne modele yamalanmış gibi duruyor. Bu nedenle, onlarca yıldır fizikçiler Büyük Birleşme Kuramı üzerine çalışıyor, tek bir geometrik nesneyle tüm kuvvetleri açıklayabilecek bir modele ulaşmaya çalışıyorlar.

Peki, bu son nokta mı ? Hayır. Kütle çekim kuvveti ile bütün diğer kuvvetlerin birleştirecek Herşeyin Kuramı (ing: Theory of Everything) buna göre çok daha derin ve büyük bir toplama girişimi.

1980’lerden bu yana sicimleri ve zarları titreştirerek kütle çekimi ve diğer üç kuvveti birleştirmeye çalışan çok sayıda yaklaşım geliştirildi. Sicim kuramı (aslında kuramları demeli, çünkü çok sayıda sicim yaklaşımı söz konusu) maddenin en temelde titreşen küçücük sicimlerden ve zarlardan oluştuğunu, bunların bir araya gelerek daha büyük atomlara, moleküllere dönüştüğünü söylüyor.

Başka birleştirme girişimleri de var. Bunlardan biri, Standart Modele yakın bir düzeyde çözüm arayan ilmek kuantum kütle-çekimi (ing: loop quantum gravity) kuramı. Bu modelden yola çıkan bir başka birleşme kuramı Lisi tarafından 2007’de önerildi: E8.

Bu kurama göre, kütle-çekim yasası geometrik bir çerçeve içinde ele alınarak Büyük Birleşme Kuramı genişletilmelidir. E8 kuramına göre, bütün kuvvetler ve parçacıklar tek bir geometrik nesnenin bükümleridir. Hepsi bu kadar.

E8 tam anlamıyla tamamlanmamış bir kuram olsa da, CERN'deki LHC hızlandırıcısında saptanma olasılığı bulunan bazı parçacıklar öngörüyor.

## E8' i anlamak

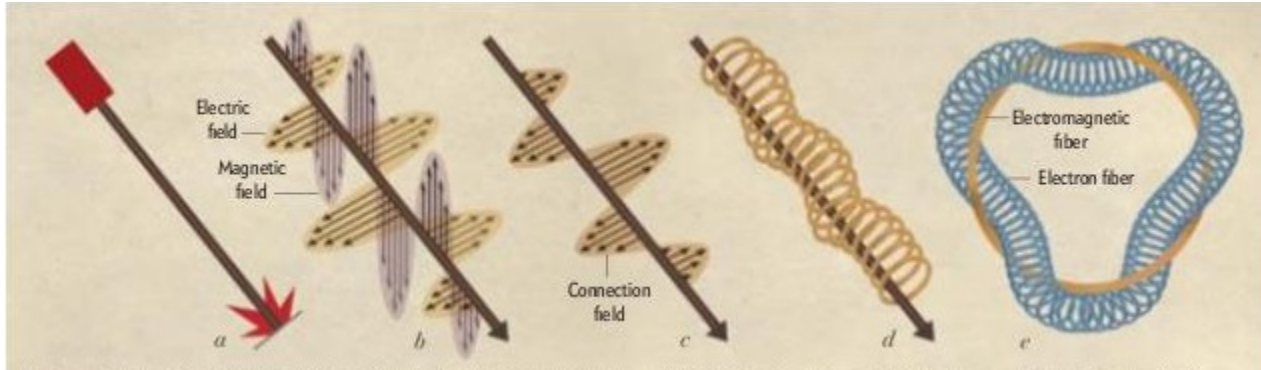
Lisi' nin E8 modelini anlamak için önce bilinen kuvvetleri ve parçacıkları yönlendiren geometri ilkelerini incelemeliyiz. Geometri, şekilleri incelemek demek. Ama temel fizik sözkonusu olunca hangi şekillere dikkat etmeliyiz ? Üçgen, kare, çember ? Hangisi ?

Fizikteki temel parçacıkların arasında çok estetik bir geometrik ilişki vardır; biz bunun şekillerini doğrudan göremeyiz ama etkilerini saptayabiliriz. Uzay-zamanın her noktasında, farklı parçacıkları betimleyen fiber denen geometrik bir şekil bulunur. Uzay-zamanın ve fiberlerin oluşturduğu geometrik şeklin tamamı fiber demeti (ing: fiber bundle) olarak tanımlanır. Fiberler bizim uzayımızda değil, onun üstündedir.

## Üstümüz hep fiber

1982' de Hermann Weyl tarafından ortaya atılan düşünceye göre fiberler, parçacık özelliklerine karşılık gelen şekilleri olan, bizim uzayımıza bağlantı yapan iç uzaylar.

Sicim kuramından farklı olarak bu iç uzay fiberlerinin şekilleri sabit: Herhangi bir titreşme, kıvrışma söz konusu değil. Bunların hareket tarzları, bizim dört boyutlu uzay-zamanımıza nasıl bağlandıklarıyla ilgili. Elektrik ve manyetik alanlar bizim uzayımızın her tarafında, çember şekline sahip fiberlerin bir sonucu. U(1) adı verilen çember şekli, Lie gruplarının (19. yy'da yaşamış Norveçli matematikçi Sophus Lie' nin bulduğu gruplar) en basit örnek ve tek simetrisi var: Bir çemberi döndürsek değişmeden aynı kalır. Küçük bir dönme, Lie grubunda bir üretilir. Elektromanyetik fiber demeti uzay-zamanın her noktasına bağlı olan çemberlerden oluşur.



**Şekil 1:** Lazer ışını (a), elektrik ve manyetik alanlardan oluşur (b). Bu alanlar, ışınım etrafında bükümlenen çembersel fiberler (d). Dolayısıyla, çembersel fiber uzay-zamanın her noktasına bağlı ve ışık parçacığı (foton) bu çemberlerin devinimi. Elektron gibi yüklü bir parçacık ise bu çembersel fiberin etrafına sarılan başka bir fiber (e)

Bu modelde elektromanyetik dalga, çemberlerin uzay-zamanda dalgalanmalarından ibaret. Onun kuantası olan foton (ışık), kuvvet taşıyıcı parçacığıdır. Elektronlar gibi elektrik yüklü parçacıkların fiberleri, bu çembersel fiberin etrafına sarılan başka bir fiber: -1 birim elektrik yüküne sahip elektronlar üç büküm, +2/3 elektrik yüküne sahip u kuarklar ters yönde iki büküm ve -1/3 birim elektrik yüküne sahip d kuarklar tek büküm yapıyor.

Her kuvvetin kendi yükü ve kendi propagatör parçacıkları var. Bunlar basit çemberlerle değil, daha komplike fiberlerle, etkileşime giren ve kesişen çemberlerle tanımlanıyolar.

Zayıf kuvvet, 3-boyutlu Lie gurubu olan SU(2) grubu ile tanımlanıyor. Bu kuvvetin şeklinin üç simetri üretici var: W+, W- ve W3 bozonları. Zayıf yüklere sahip W+ ve W- bozonlarının çemberleri W3 etrafında zıt yönlü hareket ediyorlar.

Fermiyonlar, spinlerinin momentumlarıyla aynı veya aksi yönde hizalanmasına göre, sağ-elli veya sol-elli olmak üzere ikiye ayrılıyor: Sadece sol-elli fermiyonların zayıf yükleri var. Sol-elli u-kuark ve nötrinin +1/2 ve sol-elli d-kuarkının -1/2 zayıf yükü bulunuyor. Karşı parçacıklar için ise tam tersine, sadece sağ-elli karşı parçacıklar zayıf yüke sahip. Başka bir deyişle, evrende ayna simetrisi yok; evren baştan aşağı asimetric. Birleşik kuramın çözmeyi hedeflediği gizemlerden biri, bu asimetric.























### Bakınca epey karışık, ama öyle değil

Fizikçiler zayıf kuvvetle elektromanyetik kuvveti birleştirdiklerinde esasen SU(2) fiberi ile U(1) çemberini birleştirmiş oldular. Bu çember artık elektromanyetizmanın çemberi değil, Y hiperyük kuvveti denen ve parçacıkların hiperyüklerine göre etrafında döndüğü Y hiperyük kuvvetinin çemberi.

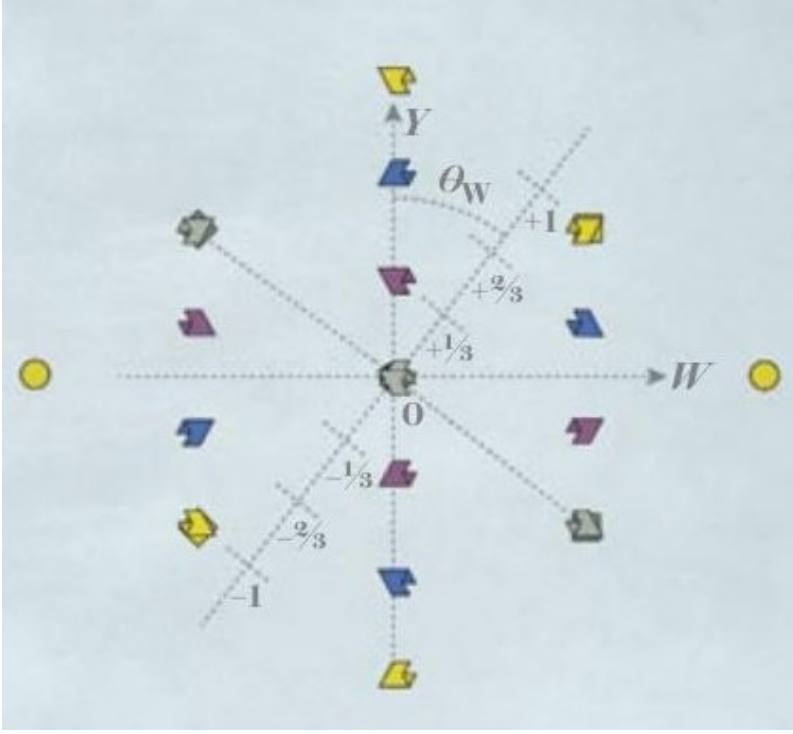
Dört boyutlu elektrozayıf Lie gurubunda W3 çemberleri hiperyük çemberleri ile birlikte iki boyutlu torus şekilleri oluştururlar. Bu torusun dilimlere ayrılması bir simetric kırınımıdır. Higgs bozonu adı verilen parçacık fiberi elektrozayıf Lie gurubunda Z, W+ ve W- bozon çemberlerinin etrafında büküm yapar. Higgs parçacığı henüz ortalıkta yok ama Z bozonu 1973' de gözlemlendi.

### Elektrozayıf kuramı

Elektrozayıf kuramı resmetmenin en iyi yolu, şekil 3' te görüldüğü gibi, parçacıkları zayıf ve hiper yük eksenlerine yerleştirmek. Bu grafikte bütün parçacıklar elektrik yüklerine göre eşit aralıklarla çizgilere yerleşiyor. Elektrik yükü ise, Higgs bozonu tarafından belirlenen zayıf ve hiper yüklerin bileşimi.

BOZONLAR	FERMİYONLAR	
 Foton	 Nötrino	 Sol elli spin yukarı
 Zayıf bozonlar	 Elektron	 Sol elli spin aşağı
 Gluonlar	 U kuark	 Sağ elli spin yukarı
 Gravitonlar	 D kuark	 Sağ elli spin aşağı
 Higgs	 U kuark	 Sağ elli spin yukarı -karşı
 Daha zayıf bozonlar	 D kuark	 Sağ elli spin aşağı - karşı
 X bozonlar	 U kuark	 Sol elli spin yukarı - karşı
 Daha fazla Higgs	 D kuark	 Sol elli spin aşağı - karşı

Şekil 2: Parçacıklar ve şekilleri



Şekil 3: Elektrozayıf kuramda elektromanyetizma ve zayıf nükleer kuvvetlerin birleşmesi. Grafikteki parçacıklar hiperyük (Y) ve zayıf yük (W) koordinatlarına yerleşmiş. Higgs bozonları (gri) sol yukardan sağ aşağıya doğru inen çizginin üzerinde. Elektrik yüklü parçacıklar paralel çizgilerde görülüyor. Bu şekilde elektrik yükü, hiper yük ve zayıf yükün bir karışımı.

Zayıf kuvvetin gücü deneysel olarak ölçülerek 3.'ü şekildeki çizgilerin açısı (zayıf karışım açısı) yaklaşık 30 derece olarak saptanmıştır.

Standart Modelde kuarkları atom çekirdeğine bağlayan kuvvet, geometrik olarak daha da büyük bir Lie gurubu olan SU(3) gurubuna ait. SU(3) gurubu fibri "gluon" adı verilen, sekiz adet foton benzeri parçacığın etkileşimlerini tanımlayan sekiz farklı çemberden oluşan sekiz boyutlu bir iç uzay. İlk bakışta epey karışık değil mi ?

Aslında değil. Bu fibri anlaşılabilir dilimlere bölersek  $g_3$  ve  $g_8$  üreteçlerine ilişkin iki dizi bükümsüz çemberden oluşan bir torus şekli ortaya çıkar. Diğer altı gluon üreteçleri bu torus etrafında büküm yapar ve ortaya çıkan  $g_3$  ve  $g_8$  yükleri sekizgen bir diyagram oluşturur. Kuark fiberleri ise bu SU(3) Lie gurubu etrafında büküm yapar. Bunların yeğın kuvvetleri bir üçlü diyagram oluştururlar. Üç renge ayrılan kuarklar (kırmızı, yeşil ve mavi) "Kuantum Renk Dinamiği" ile resmedilirler. Standart Model, kuantum renk dinamiği ve elektrozayıf modelin guruplarının, yani S(3), SU(2) ve U(1) Lie guruplarının birleşmesi sonucu ortaya çıkar.

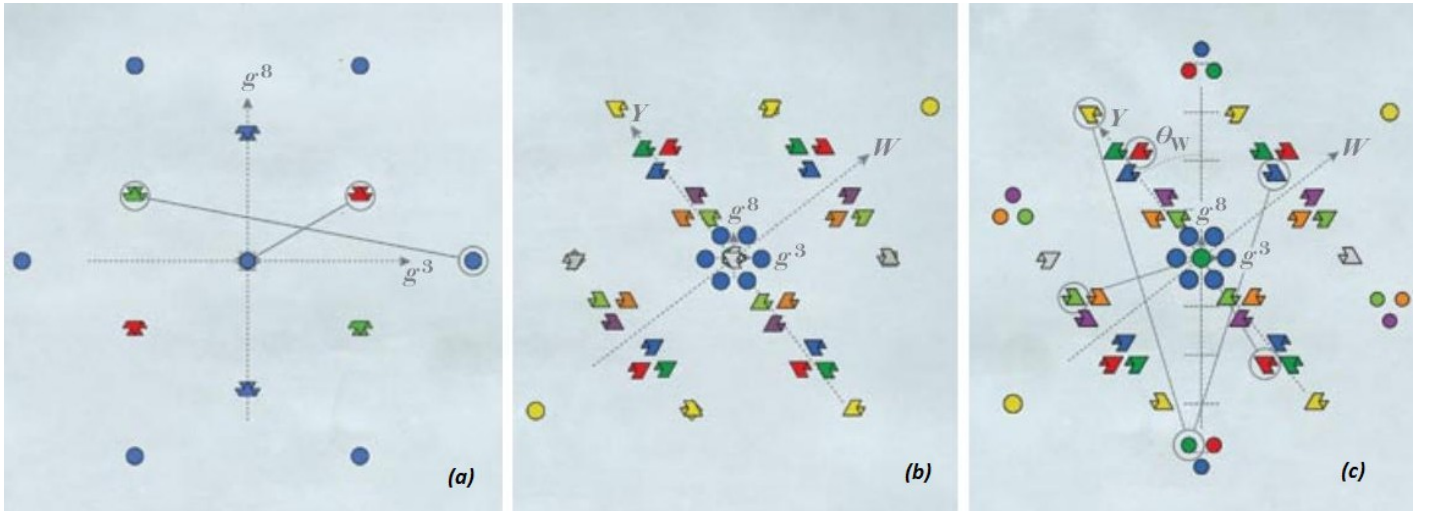
Bu şekilde temsil edilen Standart Model, deneylerle uyum içindedir; büyük bir başarı elde etmiştir ama içinde çözülmeyi bekleyen onlarca soru beklemektedir. Neden doğa Lie guruplarının bu

kombinasyonunu kullanıyor ? Neden madde fiberleri var? Higgs bozonu neden var olmalı? Karışım açısı nedir ? Niye vardır? Kütle-çekim modele nasıl dahil olur ? Kuarklar arasındaki kütle farkları nereden geliyor? Kozmik Kara Madde nedir? Kara Enerji nedir? ... Standart model bunlara benzer daha pek çok sorunun cevabını veremiyor. Kuramları birleştiresek belki de bu soruları kolayca yanıtlayacağız.

### Büyük birleşme (ama tam değil)

Elektro-zayıf ve yeşin kuvvetler fiber demetleri ile resmedilebilse bile, bu fiberler birbirlerinden bağımsızdır. Fizikçiler bu iki kuvvette ortak olan bir fiber arıyorlar. Aynı ayrı Lie gurupları yerine, bütün kuvvetleri içine alabilecek bir Lie gurubu olabilir pekala. Bu yönde sağlam kanıtlar var: Bütün kuvvetler, çok yakın mesafelerde (ya da çok yüksek enerjilerde) birleşme eğilimi gösteriyor. Birleşmiş tek kuvvete dayanan Büyük Birleşik Teori (GUT), düşük enerjilerde Standart Model haline dönüşüyor ve test edilebilir öngörülerde bulunuyor.

1973' de Howard Georgi ve Sheldon Glashow SU(5) gurubunun bu türden bir birleşme sağlayabileceğini düşündü. SU(5) BBT' nin bir takım öngörülleri de vardı: ilk olarak, fermiyonların hiperyükleri gerçekte olduğu gibi çıkıyordu. İkincisi, zayıf karışım açısı 38 derece olarak hesaplanıyordu ki, bu da deneysel sonuçlara oldukça yakındı. Son olarak, Standart Model'deki 12 bozona ilaveten SU(5)' de X bozonları adı verilen 12 yeni kuvvet parçacığı daha vardı. İşte bu X bozonları yüzünden modelin havası sönüverdi. Çünkü bu yeni parçacıklar, SM'de asla gerçekleşmeyecek biçimde protonun daha hafif parçacıklara bozunmasını öngörüordu. Yapılan bütün deneyler öngörüü boşta çıkardı: Protonlar bozunmuyordu! Böyle olunca, güzelim model çöpe gitti.



**Şekil 4:** (a) Yeşin kuvveti ileten sekiz gluon (altı gluon altıgen içinde, iki gluon ortada) birbirleriyle, kuarklarla ve karşı-kuarklarla,  $g_3$  ve  $g_8$  yeşin kuvvet yüklerine göre etkileşiyor. Her renkten üç kuark, üçgen bir diyagram oluşturuyor. Parçacıklar etkileştiklerinde (örneğin dairesel gluon ile yeşil kuarkın kırmızı bir kuark yaratmak için etkileşmeleri) yükler korunuyor.

(b) Standart Modelde elektro-zayıf ve yeşin kuvvetlerin diyagramları. Dört boyutlu diyagram burada iki boyuta indirgenmiş. Kütle-çekim hariç bütün diğer parçacıklar bu diyagramda yüklerine göre sıralanıyor.

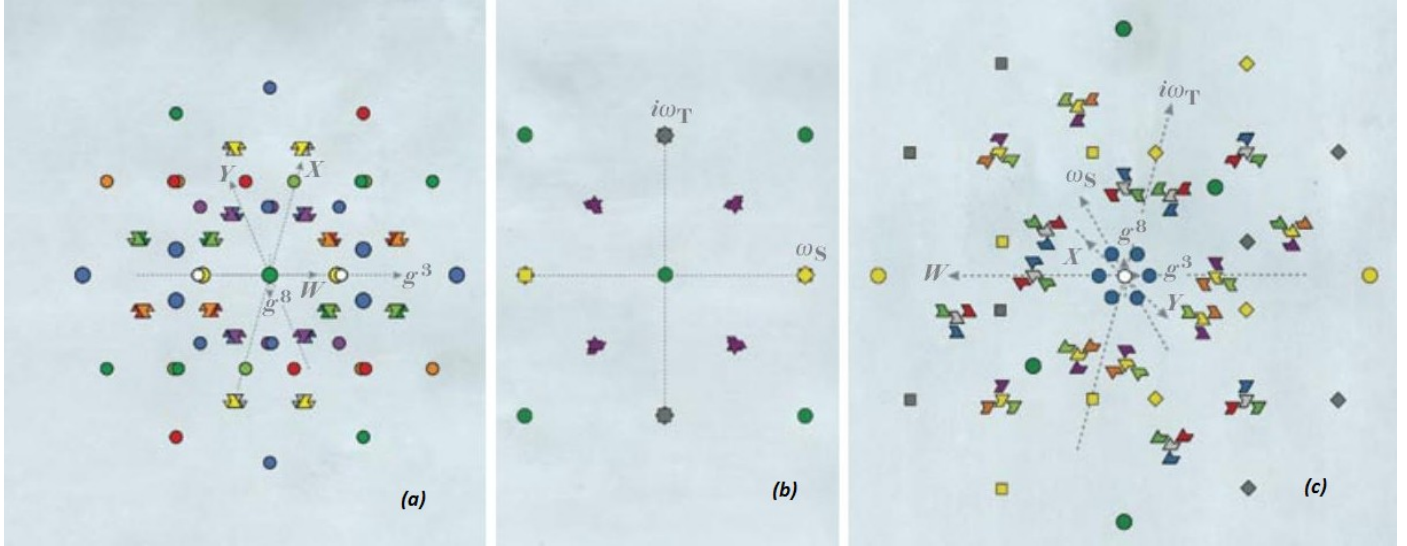
(c) Büyük Birleşik Teori: Elektro-zayıf ve yeşin kuvvetler SU(5) adı verilen daha geniş bir yapının parçalarıdır. Bu yapıda, X bozonları adı verilen 12 yeni parçacık var. SU(5)'de proton (iki u kuarkı ve bir d kuarkına sahip) bir pozitrona (karşı-elektron) ve pionu (u ve karşı-u kuarkları) bozunabilir.

SU(5) modelinin başarısızlığına rağmen fizikçiler gidilen yolun doğru olduğunu düşünüp yeni BBT'ler aramaya devam ettiler. Spin(10) Lie gurubuna dayalı bir BBT, SU(5)'de olduğu gibi aynı hiperyükleri ve zayıf karışım açısını öngörüyordu. Ayrıca zayıf kuvvete benzer yeni bir kuvvetin var olmasını da gerektiriyordu. Bu yeni "daha zayıf" kuvvet, zayıf kuvvetinkilere benzer  $W^+$ ,  $W^-$  ve  $W^3$  bozonları tarafından iletiliyordu ve sağ elli fermiyonlarla etkileşerek sol-sağ simetrisini düşük mesafelerde tekrar kuruyordu. Bu yeni modelin 30 adet yeni X bozonu öngörmesine karşın, SU(5)'in elde kalmasına neden olan proton bozunumu içermemesi (ya da çok hafif bir bozunum öngörmesi) avantajlı bir durumdu.

Spin(10) BBT'nin diyagramlarında parçacıklar iç içe geçmiş 4 çemberle gayet estetik görünüyor. Modelin daha derinde, çok daha özel estetiği ise şöyle: Spin(10) gurubundaki 45 bozon, 16 fermiyon ve 16 karşı-fermion aslında tek bir özel Lie gurubuna, E6 gurubuna aittir.

Spin(10)'daki bozon ve fermiyonlar ile Standart Model'in 78 üretece sahip E6 gurup yapısına tam olarak uyması çok ilginç bir sonuçtur. Şimdiye dek fizikçiler bozon ve fermiyonları birbirlerinden tamamen farklı düşünmüşlerdi. Bozonların kuvvet fiberleri Lie guruplarına aitti, fermiyonlar ise Lie guruplarının etrafında büküm yapan farklı türden fiberlerdi. Oysa E6'dan çıkan sonuca göre, bozonlar ve fermiyonlar aynı fiberin parçalarıydı. Böylece kuvvet ve madde, bozonlar ve fermiyonlar, süperbirleşik alanda bir araya geliyordu.

Bozonları ve fermiyonları birbirine kavuşturan bu süperbirleşmenin eğriliği E6'nın uzayzaman etrafında bükümünü gösteriyor ve SM'deki bozon-fermiyon etkileşimlerini de açıklıyordu. Ancak yine bir sorun vardı: E6 modeli, Higgs bozonunu ve kütle-çekimini içermiyordu.



**Şekil 5:** (a) E6 kuramına göre, sadece doğanın kuvvetleri değil, maddeyi oluşturan fiberler de tek bir fiber şeklinin parçaları. E6, diğer tüm şekilleri açıklıyor ama Higgs bozonunu ya da kütle-çekimini modele dahil edemiyor.

(b) Kütle-çekim kuvvetinin iki yükü var: uzayda spin ( $\omega_S$ ) ve zamanda spin ( $\omega_T$ ). Üst solda ve alt sağda görülen parçacıklar uzayda sol-elli tırbüşon hareketi yapıyor.

(c) Standart Model + Kütle çekimi. SM'in ve kütle-çekimin diyagramları birleştirildiğinde, bilinen bütün parçacıkları içeren tek bir diyagram ortaya çıkar. Bu diyagram aynı zamanda, Higgs bozonu ile kütle-çekimin çerçevesini birleştiren "çerçeve-Higgs" alanını betimliyor. Sadece sol-elli fermiyonların zayıf alanı olduğu için bilmedeki parçalar yerine oturuyor.

Albert Einstein' e göre kütle-çekimi uzay-zaman eğriliğidir. Einstein' ın matematiksel formülasyonu zamanına göre en yüksek düzeydeydi. Ancak günümüzde fizikçiler kütle-çekimini fiber demetleri halinde ele alan daha modern bir yorum kullanıyorlar.

Referans çerçevesini, her uzay-zaman noktasında birbirine dik üç adet cetvel ve bir saat olarak düşünebiliriz. Bu çerçeve olmazsa uzay-zaman, yön ve mesafe kavramına sahip olmayan sayılar topluluğuna dönüşür. Referans çerçevesinde farklı noktalarda farklı cetvel ve saat dizileri bulunur ve bunlar merkezdeki çerçeveye dönüşüm faktörleriyle bağlıdır. Çerçevelerden biri, diğerine göre dönüyor olabilir. Daha acayibi, Einstein' ın gösterdiği gibi uzay ve zaman birleşik olduğundan, uzayın zaman içinde dönmesi de mümkün. Çerçevelerin bir noktadan diğer noktaya dönmesi spin bağlantılarıyla - daha yaygın adıyla kütle-çekim alanıyla- belirlenir. Kütle-çekimin Lie gurubu, üç uzay ve bir zaman boyutunda olası dönmelerin Lie gurubu olan Spin(1,3) gurubudur. Kütle-çekim kuvvetini hissetmemizin nedeni, zamanda ilerlerken kütle-çekim spin bağlantı alanının bizim çerçevemizi döndürerek, dünyanın merkezide doğru yönlendirmesidir.

Parçacıkların SM kuvvetleriyle etkileşimlerini belirleyen farklı türden yüklere sahip olmaları gibi, uzayda nasıl davranacaklarını belirleyen bir yük türü vardır. Bir cetveli uzayda 360 derece döndürsek orijinal konumuna geri döner, çünkü bu cetvelin ve kütle-çekim çerçeve alanının uzay spin yükü +1 veya -1 değerindedir. Ama bir fermiyonu (örneğin elektronu) uzayda 360 derece döndürsek başlangıç konumuna gelmez. Bunun için fermiyonu 720 derece döndürmek gerekir, çünkü spin yükü  $\pm 1/2$  değerindedir. Uzay-zamanın geometrisine bağlı olduğundan, referans çerçevesi ve spin bağlantısı aracılığıyla spin yükü kütle çekiminde önemli bir rol oynar. Diğer kuvvetleri betimlerken yaptığımız gibi, kütle-çekim için de spin üzerinden diyagramlar oluşturabiliriz (Şekil 5).

Bir parçacığın uzay spin yükü onun iç açısal momentumudur ve zaman spin yükü, parçacığın uzaydaki hareketiyle ilgilidir. Şekil 5 b' de üst sağ ve alt solda yer alan, uzay spinleri ve hareket yönleri hizalanmış fermiyonlar uzayda yol alırken sağ-elli tirbüşon hareketi yaparlar. Uzay spinleri ve hareket yönleri zıt olan fermiyonlar ise sol-ellidir.

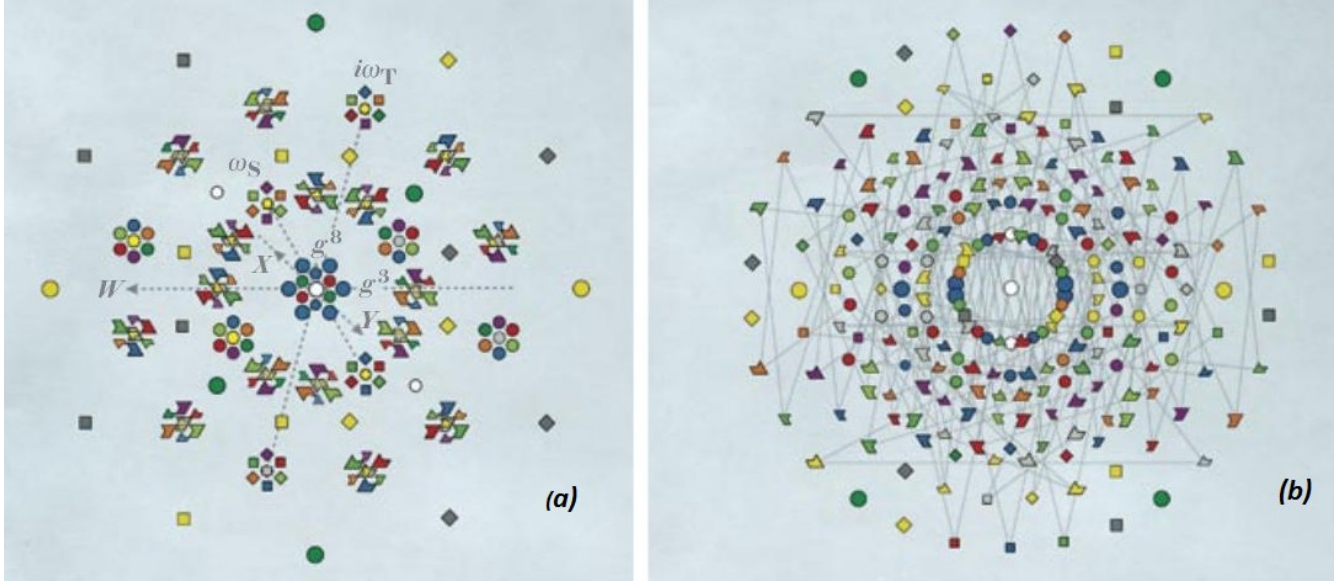
Spin yükü zayıf nükleer kuvvetle de ilgili. Sadece sol-elli parçacıkların ve sağ-elli karşı-parçacıkların zayıf yükleri vardır ve sadece bu parçacıklar zayıf kuvvetle etkileşime girerler. Zayıf kuvvetin spin yüküne hassas olması, kütle-çekim ve diğer kuvvetlerin de böyle olabileceği yönünde önemli bir kanıttır.

## **Herşeyin kuramına çeyrek kala**

Spin(1,3) ile betimlenen kütle-çekim ve Spin(10)'a dayanan BBT, Spin(11,3) adı verilen Lie gurubunda birleşerek Roberto Percacci tarafından ortaya atılan kütle çekimsel Büyük Birleşik Teori haline gelir. Bu model, Herşeyin Kuramına oldukça yakındır. Spin(11,3) Lie gurubunda 64 fermiyona kadar izin vardır ve bunların spin, elektrozayıf ve yeğin kuvvet yükleri şaşırtıcı bir isabetle öngörülmektedir. Ayrıca Spin(11,3) gurubunun üreteçlerinden olan Higgs bozonu ve kütle-çekim çerçevesi "Higgs-çerçevesi" adını alarak birleşmekte, Spin(11,3) fiber demetinin eğriliği kütle-çekimin dinamiğini, diğer kuvvetleri ve Higgs'i doğru bir şekilde açıklamaktadır. Bunlara ilaveten modelde, Kara Enerjiyi açıklayan kozmolojik bir sabit de mevcuttur. Herşey yerli yerine oturur bu modelde.

Bazı fizikçiler bu modelin Coleman-Mandula teoremine aykırı olduğunu ileri sürdü. Bu teoreme göre kütle-çekim ve diğer kuvvetler tek bir Lie gurubunda mümkünü yok birleştirilemez. Ancak bu teoremin önemli bir açığı vardır: sadece uzay-zamanın varlığında geçerlidir. Spin (11,3) kuramında (veya E8 kuramında) kütle-çekim diğer kuvvetlerle Lie gurup simetrisi kırılmadan önce ve henüz uzay-zamanın

ortada yokken birleşir. Bizim evrenimiz simetri kırıldığında başlar: çerçeve-Higgs alanı birleşik Lie gurubunda belli bir yön seçerek sıfırdan farklı bir değer alır. Böylece kütle çekimi bağımsız bir kuvvet haline gelir ve uzay-zaman var olmaya başlar. Dolayısıyla bu durumda Coleman-Mandula teoremi ihlal edilmez. Zamanın başlangıcı mutlak simetrimin kırılmasıdır. Spin(11,3) kuramının diyagramı sonunda eksiksiz ortaya konabilmiştir.



**Şekil 6:** (a) Standart Model ve kütle-çekim, E8 Lie gurubu içine gömülü halde, parçacık yüklerinin dizilimi biçiminde tasvir edilebilir. E8 modeli ayna fermiyonları gibi egzotik parçacıklar ve henüz gözlemlenmemiş kuvvetlerin taşıyıcıları olan bozonlar içerir. (b) E8 Kuramı her fiberin (her kuvvetin, madde parçacığının ve kozmik kara madde adayı olabilecek her tür parçacığının) tek bir şeklin parçaları olduğunu varsayar. Çok özel bir simetriye sahip olan E8, Herşeyin Kuramı olmaya adaydır.

Bu BBT' de bütün parçacıklar ve kuvvetler, en büyük özel Lie gurubu olan E8' in çok zarif matematiksel yapısı içinde tanımlanırlar. E8 gurubunda 64 adet SM fermiyonu ve bunların spinleri, Spin(11,3) Kütle-çekim Büyük Birleşik Teorinin yapısı içinde yer almaktadır. Kütle çekimi ve bilinen diğer kuvvetler, Higgs parçacığı ve Standart Modelin bir ailesindeki fermiyonlar, hepsi birlikte E8 fiber demetinin süperbağlantı alanının parçalarıdır.

248 üretece sahip E8 gurubunun yapısı çok zarif ve karmaşık. Kütle çekimi ve SM parçacıklarının dışında E8 gurubunda  $W'$ ,  $Z'$  ve  $X$  bozonları, birçok Higgs bozonu, ayna fermiyonları adı verilen yeni parçacıklar ve aksiyonlar (bir Kara Madde adayı) bulunuyor. SM' in bir ailesindeki fermiyonların 64 üretici, diğer iki 64 üreteçle ilişkilendiriliyor ve bir tür üçlü simetri (ing: triality) oluşturuyor. Bu üçlü yapı, bilinen fermiyonların üç aile yapısını yansıtır.

### Kuram tamam, sırada deney var

E8 kuramı fiziki evrenin nasıl ortaya çıktığını matematiksel olarak açıklıyor. Bu kuram aynı zamanda Higgs bozonunun ne olduğunu, kütle-çekimin ve diğer kuvvetlerin simetri kırınımından nasıl çıktığını, fermiyonların neden bu ölçülen spinlere ve yüklere sahip olduğunu, deneylerde gözlemlendiğimiz etkileşimleri açıklıyor.



Kuram çok açıklayıcı ve umut verici olduğu halde kabul görmesi için çok önemli engellerin aşılması gerekiyor. Öncelikle fermiyonların neden üç aileye sahip olduklarını, bunların kütle kazanmak için Higgs parçacığı ile nasıl etkileşime girdiğini ve E8 kuramının Kuantum Kuramı ile tam olarak nasıl betimlenebileceğini ortaya çıkarmak gerekiyor.

E8 kuramı doğruysa, kuramın öngördüğü bazı parçacıkların Büyük Hadron Çarpıştırıcısında (LHC) keşfedilmesi bekleniyor. Öte yandan, LHC’ de E8 kuramına uymayan yeni parçacıklar bulunursa model tamamen çökebilir.

Her halukarda deneyçilerin keşfettikleri yeni parçacıklar, yukarıdaki şekillerde gösterilen diyagramlarda kendilerine birer yer bulup fizikçilere doğanın doğru geometrisini gösterecektir. İşte buna sevinebiliriz.

Scientific American, December 2010’ den derleyen Kerem Cankoçak

Garrett Lisi , fizikçi, “Pacific Science Institute” kurucusu (Hawaii adasıMaui)

James Owen Weatherall, Stevens Institute of Technology'den doktoralı, ikinci doktorasını, Irvine, University of California Felsefe bölümünde yapıyor.