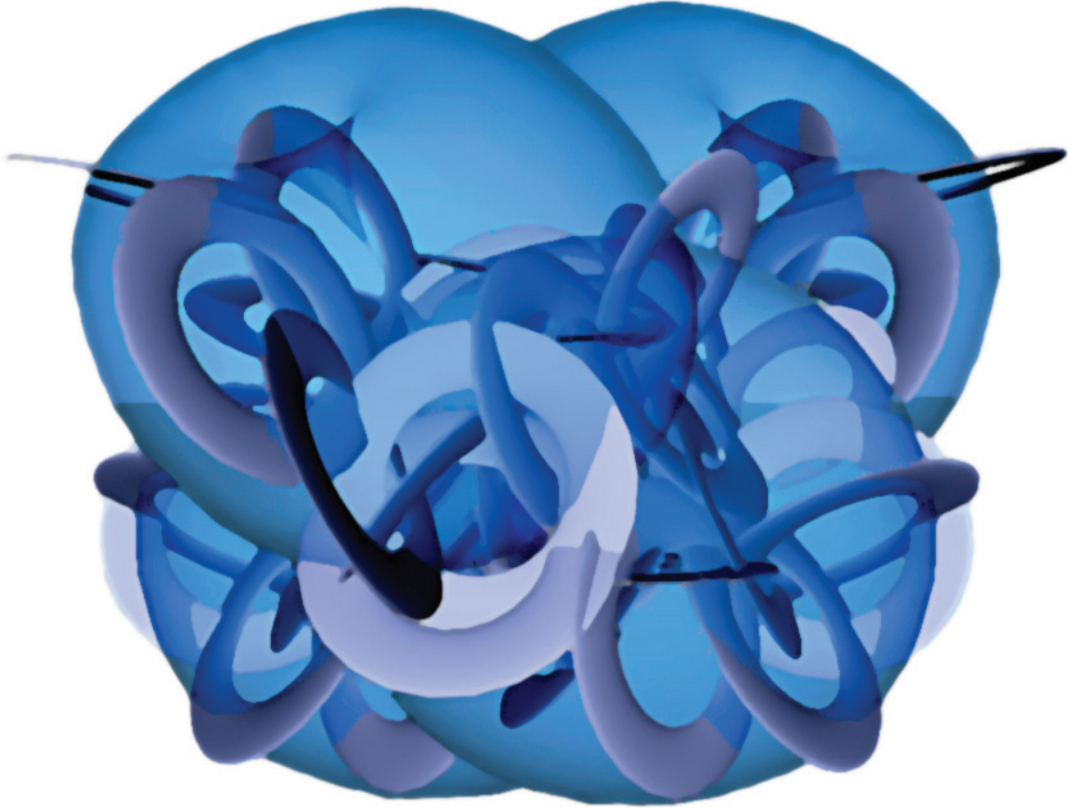


FİZİKTE BÜYÜK EVLİLİĞE DOĞRU...

HER ŞEYİN KURAMI



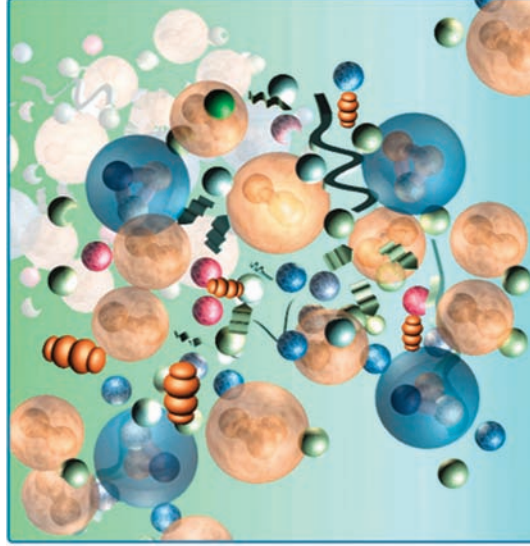
21. yüzyıl belki de yepyeni bir fiziğe gebe. Kuramların bir bölümünü çöpe atmak, hatta ders kitaplarını yeniden yazmak bile gerekebilir. Geçtiğimiz ay düğmesine basılan ve protonları ısınma turlarında başarıyla dolandıran Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) yepyeni keşiflere imza atabilir. 20. yüzyılda temelleri atılan ve öngördüğü neredeyse her şey deneylerle kanıtlanan güçlü kuramsal modellerin de tahtı sallanabilir. Bunlardan en önemlisi temel parçacıkları ve aralarındaki etkileşimleri açıklayan Standart Model. Standart Model fiziğin en güçlü kuramlarından olmasına karşın onun da hâlâ eksik kalan ya da deneylerde gözlenemeyen kimi eksik parçaları var. LHC belki bu eksik parçaları bulup modeli tam hale getirecek belki de Standart Model'i geçersiz kılacak. Ama ne olursa olsun her iki durumda da fizik kazanacak; bulunursa fizikçiler rahat bir oh çekecek, bulunamazsa da kuramsal fizikçilere çözülmesi gereken yeni ve çok heyecanlı uğraş alanları sunacak... LHC bir terslik olmazsa önümüzdeki yıl deneylerine başlayacak. O zaman neler olacak göreceğiz; ama şimdi kuramsal olarak fizik nerede ona bir bakalım.

Yirminci yüzyılda fizik, kuantum mekaniği ve görelilik kuramı üzerine kuruldu. Her iki kuramda da bağımsız olarak eşsiz başarılar elde edilmesine karşın, birbirleriyle uyumu bir türlü sağlanamadı. Bu rahatsız edici çelişki, bilimdeki en önemli araştırma alanlarından biri olarak kaldı. Genel görelilik kuramıyla kusursuz bir kütleçekim tanımımız var. Bunun kuantum karşılığı olarak düşünülen, yani kuantum mekaniğinin kütleçekim alanlarına uygulanması, kuantum kütleçekimi olarak adlandırılan dalın uğraş alanı. İlk bakışta bir kuantum kütleçekim kuramı oluşturmak pek sorun değilmiş gibi görünüyor. Hatta, formüle edilmişinden bu yana, 50 yıldır, başarılı bir şekilde işleyen Kuantum Elektrodinamik Kuramı'ndan (QED) bile daha az sorunlu olması bekleniyor.

QED, temel olarak doğadaki temel kuvvetlerden biri olan elektromanyetik kuvveti, sanal foton alışverişi cinsinden tanımlamaya dayanıyor. İşyan ve hızla soğurulan bu fotonların, Heisenberg'in belirsizlik ilkesi gereği, enerji ve momentumları korunmuyor. Dolayısıyla iki elektron arasındaki elektrostatik itme, bir elektronun saldırdığı ve başka bir elektronun soğurduğu "sanal" fotonlar olarak düşünülüyor.

Benzer şekilde, iki cisim arasındaki çekim de sanal "graviton"ların alışverişi olarak düşünülebilir. Gravitonlar, kütleçekim kuvvetinin taşıyıcı parçacıkları ya da bir başka deyişle kuantaları olarak kabul ediliyor. Ancak şimdiye dek bu türden parçacıklara rastlanmamış değil. Araştırmacılar bunun şartı olmadığını düşünüyor; çünkü, kütleçekim kuvveti elektromanyetik kuvvetten çok daha zayıf. Dolayısıyla iki kütle arasındaki tek tek graviton alışverişinin, kütleçekim alanı ve onun bu alanın ünlü ters kare kuvvet yasasıyla gösterilen bir bağıntıyı sağlaması beklenir. Ancak tek tek değil de çok sayıda graviton işe karışınca sorunlar ortaya çıkmaya başlıyor.

Kütleçekim kuvveti, elektromanyetik alandan biraz daha farklı bir yapıda: Matematiksel bir anlatımla, kütleçekim alanları nonlineer! Bu, gerçekte kütleçekim alanlarının enerjisiyle ilişkili olması, enerjinin de kütleyle ifade edilmesi ve dolayısıyla bir çekimin or-



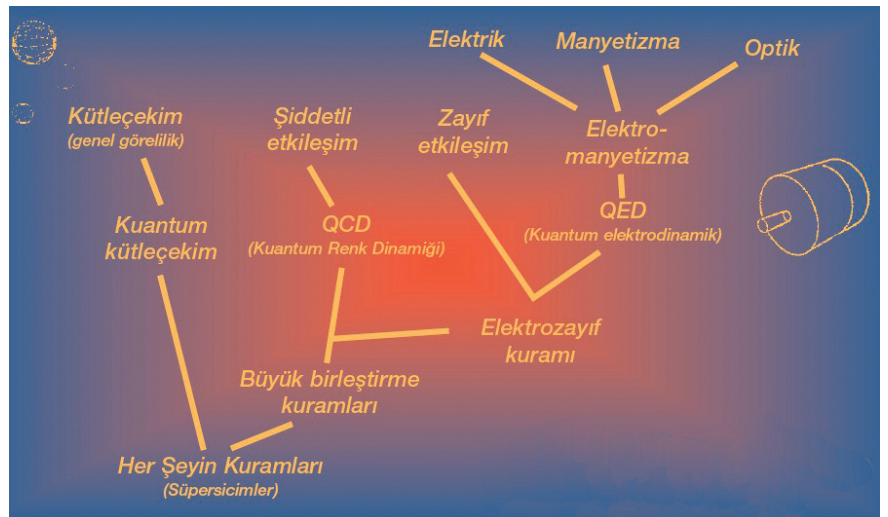
taya çıkması nedeniyle ön plana çıkıyor. Kuantum diliyle söylersek, gravitonlar başka gravitonlarla etkileşebiliyor. Oysa elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı olan fotonlar kendileriyle değil yalnızca elektrik yükleri ve akımla etkileşir. Gravitonların arasındaki bu etkileşim nedeniyle maddeyi oluşturan parçacıklar, kapalı bir ilmek oluşturan ve bir ağacın dallarına benzeyen gravitonlar ağıyla çevrili.

Kuantum Alan Kuramında (QFT), kapalı ilmekler bir sorunun işaretidir ve fiziksel süreçlerin hesaplanması sırasında yanıtların sonsuz olduğu sonuçlara neden olurlar. QFT, parçacık fiziğinin temelini oluşturan Standart Model'in çatısını oluturuyor ve kuantum mekaniğiyle görelilik kuramını bir arada düşünmeyi olanaklı kılacak kuramlar oluşturmada yararlı araçlar sunuyor. Standart Model de temel parçacıklar ve alanları bir arada tanımlayan tutarlı bir model.

Temel Parçacıklar ve Alanlar

Maxwell'in elektrik ve manyetik alanları bir bütünün parçası olarak ünlü dört denklemeyle özetlediği elektromanyetizma en iyi bilinen alanlardan. Günlük uzaklık ölçeklerindeki çoğu olayda geçerli olan bu kuvvet, en basit düzeyde klasik alan kuramıyla tanımlanır. Örneğin iki mıknatıs, birer elektromanyetik alan kaynağı olarak birbirlerine kuvvet uygular. Bu kuvvet, mıknatısların birbirlerine uzaklığıyla doğru orantılı olarak artar ya da azalır. Elektromanyetizmanın klasik alan kuramı, bu uzaklık çok küçüldüğünde ya da bir başka deyişle çok daha şiddetli alanların varlığında işlemez duruma gelir. Bu durumda alanı, uzay ve zamanın her noktasında tanımlı bir sayı olarak düşünmektense, bir kuantum işlemcisi olarak düşünmek gerekir. İşte bu noktada, kuantum kuramı devreye girer. Kuantum alanı da belli koşullar altında klasik alana indirgenebiliyor.

Kuantum kuramında bir alan, dalga-parçacık ikiliği gereği, yalnızca dalgalarla değil parçacıklarla da ilgili olarak tanımlanır. Temel parçacıklar da bir tür kuantum alan uyarıcısıdır. Dolayısıyla elektromanyetik alan da bir temel parçacıkla ilgili olmalı; bu parçacık bildiğimiz foton. Elektromanyetik etkileşim, kendini cisimler arasındaki foton alışverişiyle gösterir. Yani iki mıknatıs birbirine yaklaştırıldığında aralarında foton alışverişi olur ve bu da bir kuvvetin oluşmasını sağlar. Kabaca, fotonun olduğu her yerde bir kuantum



Parçacıklar

Leptonlar

	Elektrik Yüğü		Elektrik Yüğü
Tau	-1	Tau Nötrinosu	0
Muon	-1	Muon Nötrinosu	0
Elektron	-1	Elektron Nötrinosu	0

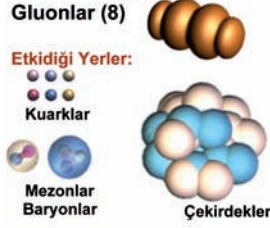
Kuarklar

	Elektrik Yüğü		Elektrik Yüğü
Alt	-1/3	Üst	2/3
Garip	-1/3	Tılsım	2/3
Aşağı	-1/3	Yukarı	2/3

Her Kuarkta: ●R, ●B, ●G 3 "renk" bulunur

Temel Kuvvetler

Şiddetli Çekirdek Kuvveti



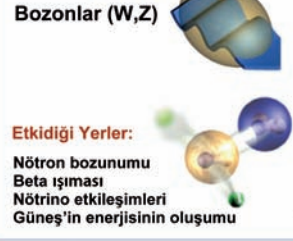
Elektromanyetizma



Kütleçekimi



Zayıf Çekirdek Kuvveti



elektromanyetik etkileşimi beklenir.

Elektromanyetizma gibi, öteki temel etkileşimler ya da kuvvetlerin de kendi kuvvet taşıyıcı parçacıkları olmalı. Bunlardan biri, klasik kuramdan iyi bildiğimiz kütleçekim kuvveti, öteki ikisi de geçtiğimiz yüzyılda keşfedilen çekirdek kuvvetleri: Şiddetli çekirdek kuvveti ve zayıf çekirdek kuvveti. Kolayca anlaşılacağı gibi bu iki kuvvetin etki alanı atom çekirdeği ölçeğinde. Oysa kütleçekimi ve elektromanyetik kuvvetler uzun erimlidirler, günlük yaşam ölçeklerinde duyumsanabildikleri için çok eskiden beri biliniyorlar. Bu kuvvetlerin taşıyıcı parçacıkları olması gerektiği, Standart Model'in temel öngörülerinden. Bu modele göre zayıf etkileşimlerinki W ve Z bozonları, şiddetli etkileşimlerinki gluon adı verilen parçacıklar, kütleçekiminkiler de gravitonlar.

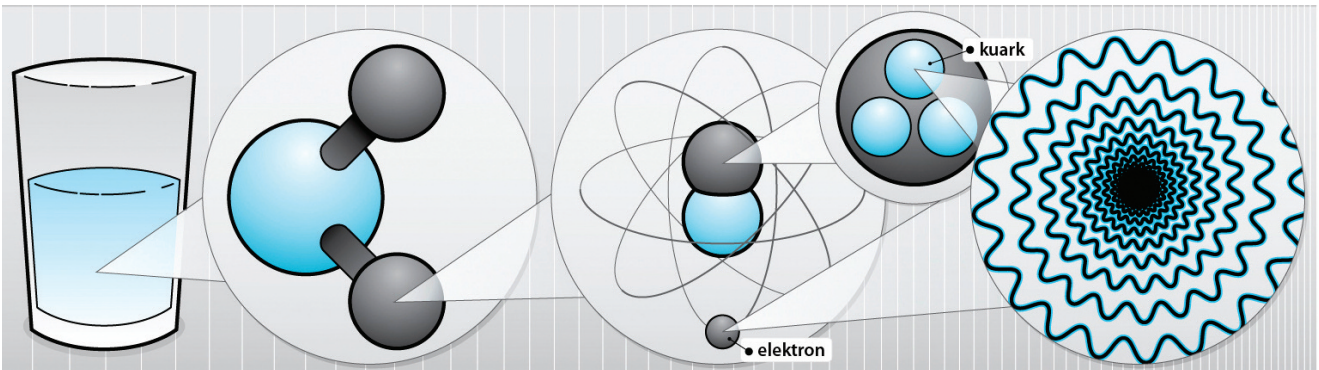
Temel parçacıklar, tabii ki bu kadarla sınırlı değil. Örneğin, elektron ve

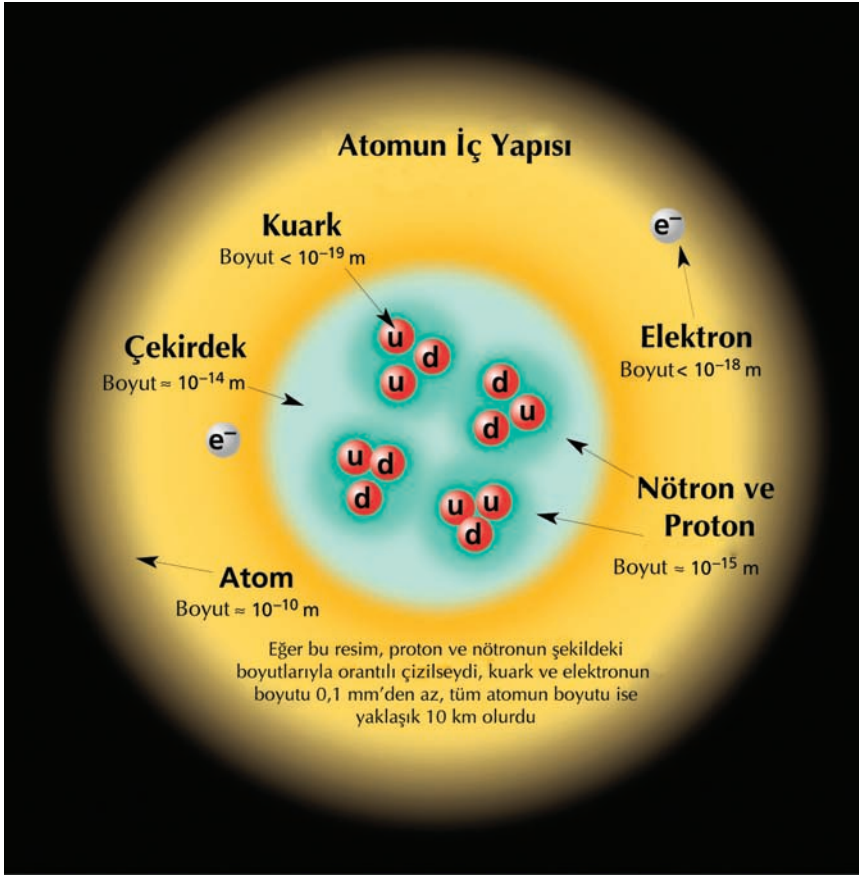
nötrino gibi parçacıklar bu kuvvetlerden biri ya da birkaçıyla etkileşebilir de kendi başlarına herhangi bir kuvvetin taşıyıcısı değiller. Bu parçacıklara "madde parçacıkları" deniyor. Madde parçacıklarının kuvvet taşıyıcılarından ayıran en önemli özellik, spinleri. Madde parçacıkları, kesirli spini olan fermiyonlar ailesi. Oysa kuvvet taşıyıcılarının spinleri tamsayılarla gösteriliyor (aşlında tüm kuvvet taşıyıcılarının spinleri 1, yalnızca gravitonunki 2).

QFT işte tüm bu kuvvet taşıyıcıları ve madde parçacıkları arasındaki etkileşimleri tanımlayan matematiksel bir çerçeve sunuyor. Ancak bu modelin iki temel sorunu var; biri estetik öteki teknik. Estetik sorun, elektronlar, muonlar, nötrinolar, kuarklar, W bozonları, Z bozonları, gluonlar, gravitonlar vb. gibi adeta bir hayvanat bahçesini andıran çok sayıda parçacığın tanımlanması. Teknik sorunun açıklanması biraz daha zor. Spini 1 olan parçacıkların

matematiksel tanımı 1960'lı ve 70'li yıllara dayanıyor. Klasik düzeyde baktığımızda, elektromanyetik alanların formülasyonunu Maxwell'e dayandırabiliriz; ancak bu formülasyon 1954'te Yang ve Mills adında iki fizikçi tarafından geliştirildi ve son hali verildi. Bu klasik alanların kuantum karşılığıysa 1940'ta Feynman, Schwinger ve Tomonaga tarafından, Yang-Mills genelleştirmesi de 1970'te 't Hooft ve Veltman tarafından yapıldı. Bu iki model de çok önemlidir. Hatta bu katkılarından dolayı, Feynman 1965'te, 't Hooft ve Veltman da 1999'da Nobel Fizik ödülünü aldılar.

Kuantum elektromanyetizma, foton ve foton etkileşmelerini, kuantum Yang-Mills kuramıysa şiddetli ve zayıf kuvvet taşıyıcıları (W-Z bozonları ve gluonlar) ile bunların etkileşimlerini tanımlar. İşte, tüm bu etkileşimler kuramı, bir kuantum ayar kuramı olan "Standart Model"de birleştiriliyor. Bu



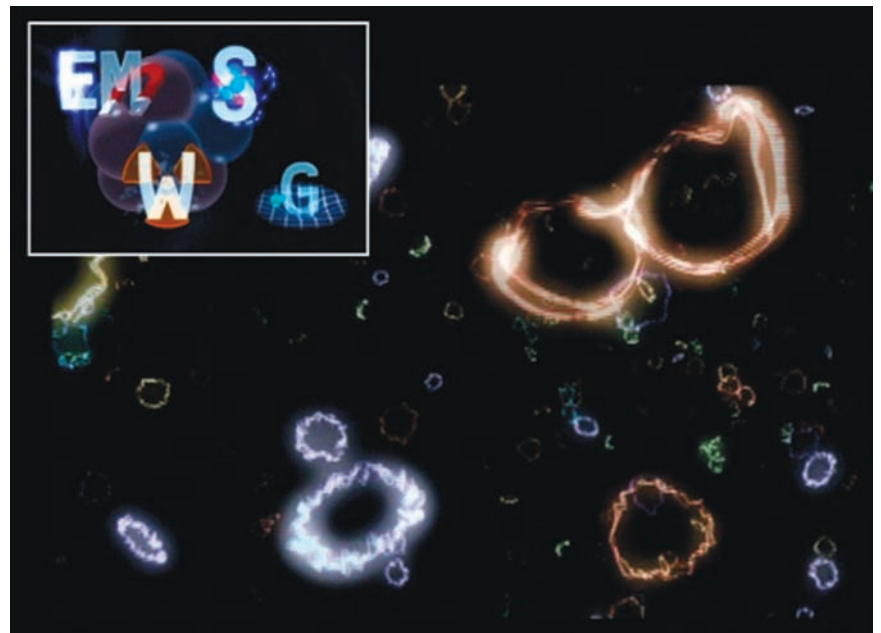


modelin en önemli başarısı, W ve Z bozonlarını daha keşfedilmeden önce öngörmesi. Standart modelin bir başka öngörüsü olan "Higgs bozonları" ise ne zamandır kendini göstermedi. Önce LHC'nin selefi LEP, ardından da Fermilab'taki Tevatron avlamaya çalıştılar ancak şu ana kadar her ikisi de başarılı olamadı. İşte LHC ile ilgili en büyük beklentilerden birisi bu parçacığı bulması.

Buraya kadar herşey güzel, ancak kolayca fark edileceği üzere, Standart Model'den söz ederken gravitonlar ve etkileşimleri üzerine çok şey söylenmiyor. Bunun en önemli nedeni gravitonların spinlerinin 2 olması ve herhangi bir ayar kuramıyla tanımlanamamaları. Aslında kütleçekimi için elimizde güçlü bir kuram var: Einstein'in Genel Görelilik Kuramı. İşte teknik sorun bu: Bu kuramın henüz bir kuantum karşılığı yok. Şimdiye değin yapılan tüm girişimler de başarısızlıkla sonuçlanmış. Eğer bu etkileşmelerin temel bir kuramı oluşturulabilir ve buna "Her Şeyin Kuramı" dersek, o zaman Standart Model için "herşeyin dörtte-üçü"dür diyebiliriz. Yani Standart Model nihai bir kuram değil.

Her Şeyin Kuramı'nı oluşturma ça-

balarının başında, tüm temel kuvvetleri birleştirmek geliyor. Bunun ilk başarılı adımı da elektromanyetizma ile zayıf etkileşimlerin birleştirilmesi oldu ve elektrozayıf etkileşim olarak adlandırıldı. Bunun şiddetli çekirdek kuvvetiyle de birleştirilmesi çok sorunmuş gibi görünmüyor. Ancak ne yazık ki kütleçekim kuvveti bu çerçeveye sığmamakta ısrarcı. Fizikçiler ne zaman

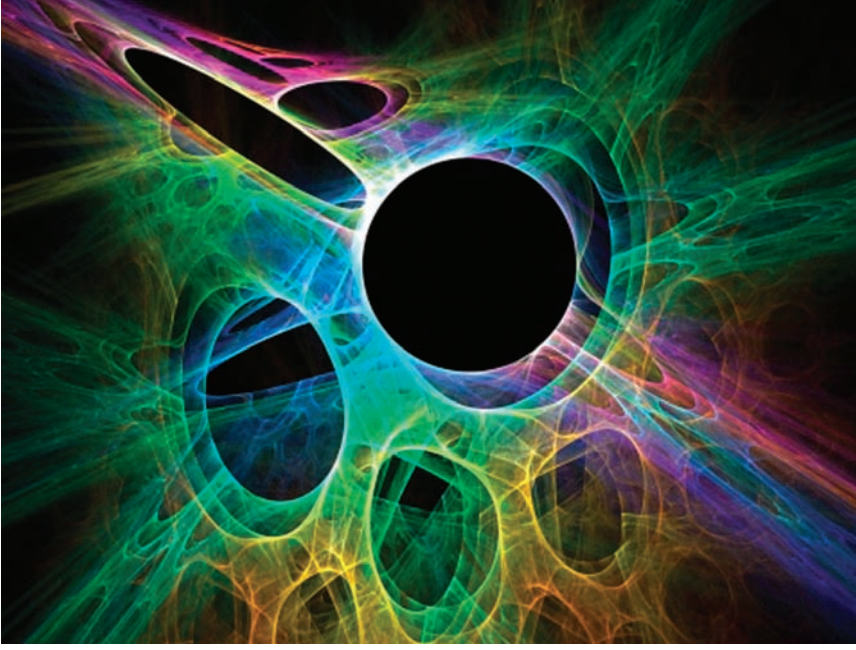


kuantumlu alan kuramının kurallarını genel göreliliğe uygulamaya kalksalar, fiziksel olarak anlamlı olmayan sonsuzluklarla karşılaşılıyorlar. Daha önce de söylediğimiz gibi sonsuzlukla sonuçlanan kapalı ilmekler işin içine giriyor.

Bu tür ilmekler, QED'de de bir elektron kendi fotonunu yayıp yeniden soğurduğunda ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu sonsuzlukları ortadan kaldırmak "renormalizasyon" adı verilen matematiksel bir süreçle olanaklı. Bu işlem düzgün bir şekilde yapılırsa, sağduyuya uygun yanıtlar elde edilebilir. Aslında QED renormalize edilebilir bir kuramdır; çünkü bu sonsuzluklar sistematik bir yöntemle hemen ortadan kaldırılabiliyor yani tek bir matematiksel işlem seti yeterlidir.

Ne yazık ki kuantum mekaniği, görelilik kuramına uygulandığında böyle sistematik süreçler işlemiyor; yani görelilik kuramı renormalize edilebilir kuram değil! Üstelik daha kapalı graviton ilmeklerinin daha katışık olarak işin içine girdiği süreçlerde yeni sonsuz terimler ortaya çıkıyor. Bu da kuramın ilgi alanına giren neredeyse tüm olgularını incelemeyi olanaksızlaştırıyor. Sonuç olarak da ortaya kuantum mekaniğinde ya da genel görelilikte veya her ikisinde birden bir sorun olduğu çıkıyor!

Bu iki güçlü kuramın önündeki bu engeli aşmak için uğraş veren fizikçiler, geçtiğimiz 15-20 yıl içinde bazı çözümler önerileri sundu. Bunların arasında en umut vaat eden, Sicim Kuramı.



Bu kuramın temel öngörüsüne göre fiziksel dünyadaki varlıklar, parçacıklardan değil, bir atom çekirdeğinden 10^{20} kez daha küçük sicimlerden oluşuyor.

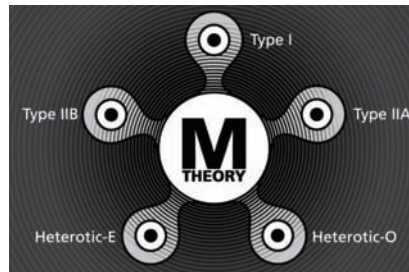
Temel yapı taşlarını oluşturan bu sicimler, "ilmekler" gibi kapalı ya da bir saç teli gibi açık olabiliyor. Bu sicimler zaman içinde hareket ettiklerinde de kapalı ya da açık olmalarına bağlı olarak bir tüp ya da bir tabaka şeklinde iz bırakıyorlar. Aslında sicimlerin en önemli özelliği titreşebiliyor olmaları ve farklı titreşim modlarının farklı parçacıklara karşılık gelmesi. Bu bir gitarın telleri gibi düşünülebilir; bu tellere her vuruş nasıl ayrı bir notaya karşılık geliyorsa, sicimin her farklı titreşimi de farklı bir parçacığı simgeliyor. Ancak sicim, gitar teli gibi sabitlenmiş değil, uzay-zaman içinde serbest hareket edebiliyor. Bir titreşim modu (ya da notası) elektron öteki bir foton olarak ortaya çıkabiliyor. Bu kuramın en önemli başarısı, kütleçekimin bir dayatma olarak kurama sokulmayıp, kuramın içinden kendiliğinden ortaya çıkması. Bu da sicim kuramını Her Şeyin Kuramı'na giden yolda en önemli adım olarak ön plana çıkarıyor.

Fakat hâlâ, "tamam bu iş" demek için erken. Çünkü elde birden çok Sicim Kuramı var. Fizikçiler sicim kuramlarını inşa ederken ortaya çıkıyor bunlar: Önce temel harç malzemesi olarak titreşen bir sicim alınıyor ve ardından gelecek soru "sicim açık mı kapalı mı olsun?" oluyor. Buraya kadar ta-

mam, şimdi sıra "Bozonlarla mı yoksa fermiyonlarla mı ilgileneceğiz?" sorusunda. Eğer bu soruya yanıtınız "yalnızca bozon, lütfen" olursa, Bozonik Sicim Kuramı'na ulaşıyorsunuz. "Yok, madde parçacıkları" diyorsanız, o zaman işler karışıyor ve yeni bir matematiksel yöntem gereksinim duyuyorsunuz. Aslında böyle bir yöntem de var: Süpersimetri. Süpersimetriye göre her bozonun bir fermiyon karşılığı var. Böylece süpersimetriyle, kuvvet taşıyıcı parçacıklarla, maddeyi oluşturan parçacıklar arasında bir ilişki kurulmuş oluyor. Bu süpersimetrik sicim kuramının adı da Süper Sicim Kuramı.

Fiziksel olarak anlamlı sonuçlar veren üç süper sicim kuramı var. Bunların ikisinde kapalı birinde açık sicimlerle çalışılıyor. Bunlara ek olarak, Bozonik Sicim Kuramıyla, Süper Sicim Kuramı'nı bütünleştirerek daha tutarlı iki sicim kuramı elde edilebiliyor. Bunlara da Heterotik Sicim Kuramları deniyor.

Sicim kuramındaki doğal ölçek 10^{19} GeV mertebesindeki planck enerjisiyle belirleniyor. Yani çok büyük bir



enerji; LHC bile bu enerjiye ulaşamayacak. Dolayısıyla maddenin sicimli yapısını doğrudan gözlemlemek olanaksız. Kuramcılara göre elektromanyetizma, görelilik, zayıf ve şiddetli çekirdek kuvvetleri ve atomaltı parçacıklar gibi alışkın olduğumuz fizik, bir yaklaşım olarak, günlük fiziksel enerji ölçeklerinde sicim kuramından ortaya çıkacak. Bu nedenle, sicim kuramı, yalnızca kuantum kütleçekiminin varsayımsal bir tanımı değil, aynı zamanda doğanın tüm kuvvetlerini birleştirme çabalarından biri olarak düşünülüyor.

Ne yazık ki ne Süper Sicim Kuramı için tek bir düşük enerji limiti ne de tek süpersicim kuramı var. Bir zamanlar başa çıkılmaz bir engel gibi görünen bu çıkmaz, son yıllarda inşa edilen ve "M Kuramı" olarak adlandırılan ve daha soyut matematik içeren bir yaklaşımın içinde çeşitli süpersicim kuramları içerdiği varsayılıyor. Kuramın başındaki M'yi, İngilizce'de "ana" anlamına gelen "mother" sözcüğüyle de ilişkilendirip, M Kuramı'nı, tüm kuramların anası olarak tanımlayanlar da var.

M Kuramı'nın yardımıyla, kütleçekim ve kuantum mekaniğini uzlaştırmanın olanaklı olduğunu söylemek şimdilik erken görünüyor. Bununla birlikte böyle bir kuram umulan şekilde işlerse, en azından fizik dünyasındaki bazı temel gerçeklere ilişkin açıklayıcı sonuçlar ortaya çıkacağına benziyor. Örneğin dört boyutlu uzay-zamanın bu kurama uyarlanmadan kendiliğinden ortaya çıkması bekleniyor. Ayrıca parçacıklar ve temel kuvvetler de etkileşim şiddetleri ve kütleleriyle birlikte belirlenebilecek.

Ancak M Kuramı ya da gelecekteki yeni sürümü, görece daha düşük enerjili laboratuvar fiziği dünyasına yansıtılıp bilgi edinilmedikçe, hoş bir matematik egzersizinden öteye gidemeyecek. O zaman belki de tüm kuramların babasına, yani bir "F Kuramı"na gereksinimimiz olacak ya da LHC tüm bunlardan bizi kurtaracak...

İlhami Buğdaycı

Kaynaklar:
Davies, P., Quantum Gravity Presents The Ultimate Challenge to Theorists, Physics World, 1999
Ellis, J., Particle Physics: The Next Generation, Physics World, 1999
Smolin, L., The New Universe Around the Next Corner, Physics World, 1999