

Sicimlerle Yeni Evrenler

Karanlık bir gecede başımızı gökyüzüne kaldırdığımızda görebildiğimiz, karanlık bir fon üzerinde ısıltılı binlerce küçük noktacık, bunların değişmeyen konumları arasında hayal gücümüzü zorlayarak oluşturduğumuz örüntüler, yani takımyıldızlar ve yazın hayal meyal görebildiğimiz ışıklı bir bulut. Milyarlarca yıldızdan oluşan bir gökadayı, keşke tam tepemizde, tüm sarmal kollarıyla, tüm görkemiyle izleyebilseydik. Ama evrenimiz gene de güzel, gene de engin. Fizikçilerin gördüğü, daha doğrusu görmeye çalıştıkları evrenlerse biraz farklı. Güzellik anlayışları da öyle. Her noktasında, sonsuz küçüklüklerde ayrı ayrı evrenler, birbirine dolanmış, karmaşık, biteviye titreşen sicimler, zarlar, düzgün ya da yamulmuş kürecikler. Birbiri üzerine kıvrılmış yepyeni boyutlar. Tanıdığımız boyutlarla karşılaştırılamayacak, hatta belki hiçbir zaman göremeyeceğimiz kadar küçük, ama bir yıldızı göstermek için kaldırdığımız kolumuzun gene de içinde yol aldığı boyutlar...Bu evrenler biraz hırçın, çalkantılı. Ama bunlar bizim duyularımızla algılayabildiğimiz dört boyutlu evrenimizden daha gerçek. Çünkü bu manzara her yerde aynı. Sonsuz büyüklük ve küçüklüklerde aynı zamanda geçerli, kozmik ve mikroskobik ölçeklerdeki her olayı açıklayan tek bir yasa var. Bu yeni evrenleri gözlerimizle görebilmemiz olanaksız. Ama fizikçiler, gökada boyutunda hızlandırıcılar olmadan da, bu yeni evrenlerin sırlarını heyecan verici bir kuram aracılığıyla çözmenin eşliğinde olduklarını düşünüyorlar.

EVRENİMİZ konusunda ki düşüncelerimiz, neredeyse evrenin genişleme hızına koşut bir hızla gelişiyor. Durağan bir evren düşüncesinden, son derece dinamik, çalkantılı, hızla genişleyen bir evren düşüncesine geldik. Kavrayışımızla ilgili değişiklik, yalnızca boyutla ya da uzay-zamanın dinamiğiyle ilgili değil. Evrenbilimcilerin çoğunu günümüzde uğraştıran tartışma, evrenin içeriği. Görebildiğimiz, yıldızlar, gökadarlar gibi ışıldayan maddenin, artık evrendeki maddenin çok küçük bir bölümünü oluşturduğunu biliyoruz. Maddenin belki de yüzde doksanı, göremediğimiz, karanlık cisimlerden ya da egzotik parçacıklardan oluşuyor. Işıyan ve ısımayan türleriyle bir arada bile madde, evrenin büyüklüğünü ve genişlemesini açıklayamıyor. Kuramcılar, Einstein'ın başta terk ettiği kozmolojik sabit düşüncesini yeniden canlandırarak, evreni dolduran ve kütleçekimin tersi, itici bir etki yapan bir boşluk enerjisi üzerinde duruyorlar. Evrenin yapısı ve geleceği kadar, onu oluşturan madde de fizikçilerin gündeminden çıkmıyor. Kamplardan biri, Standart Model'in boşluklarını doldurmak için umutlarını, maddeye kütle kazandıran Higgs parçacığına bağlamış. Gene bu parçacık aracılığıyla doğadaki temel kuvvetlerin özdeşleştirilebileceğinden umutlu. Kimiyse, bu parçacıkların, çok daha küçük, uzay zamanı dolduran sicimlerin titreşimlerinin bir biçimi olduğunu savunuyor. Evrenle ilgili daha

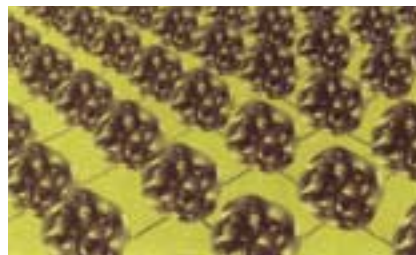
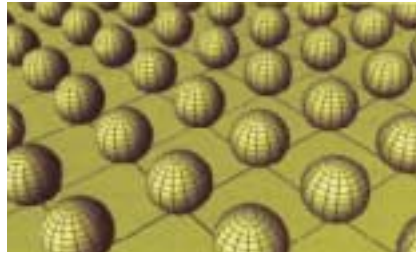
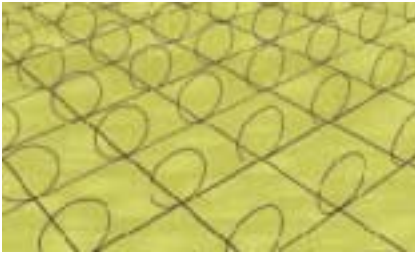
radikal bir önermeyse, evrenin, bizim algıladığımız üç uzay boyutu ve bir zaman boyutuyla varolamayacağı. Çok boyutlu bir evren, fizik dünyasının kapalı son kapılarını da açacak bir anahatar olarak benimsenmiş görünüyor.

Aslında son yıllar, evrenbilimcilerin ve parçacık fizikçilerinin, kütleçekimi araştırmalarında en cüretli önermelerine ve bunlar üzerinde yoğun çalışmalara tanık oldu. Özetle, düşünce, tanıdığımız 3 boyutlu genişleyen evrenimizi, çok daha büyük ölçülerde olabilecek daha fazla boyuttan oluşan bir uzay-zaman içinde gezinen üç boyutlu bir zar olarak tanımlamak. Bu zarlar, beş farklı sicim kuramını birleştiren ve 10 yerine 11 boyutlu bir evren resmi ortaya koyan M-kuramının öngördüğü, üç boyutlu topakçıklar. Düşüncenin tutarlı olup olmadığı konusu henüz havada. Ancak sicim kuramındaki göz alıcı ilerlemeler, bir zamanlar deli saçması sayılabilecek düşünceleri son derece doğallaştırıyor.

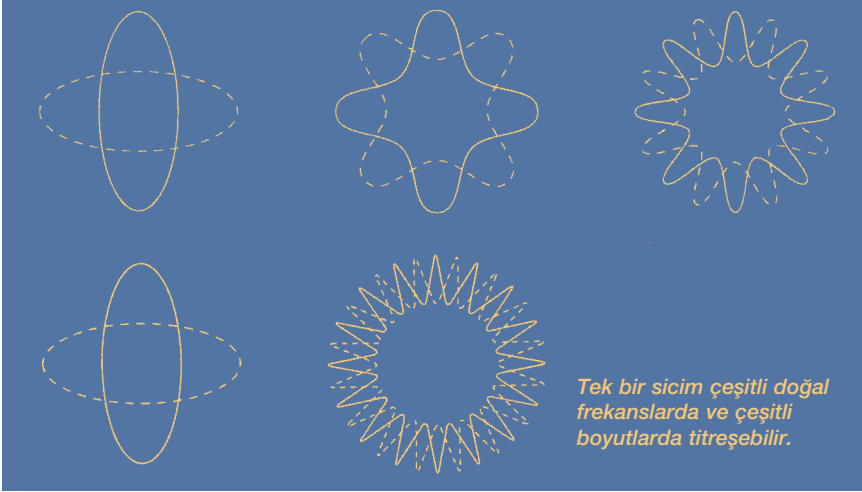
Uzay-zamanın fazladan uzay boyutları olduğu düşüncesi, neredeyse Einstein'ın görelilik kuramı kadar eski. İlk olarak, Königsberg Üniversitesi'nde Polonya asıllı bir Alman matematikçi, Thomas Kaluza, evrenimizin, Einstein'ın önerdiği 3 uzay ve bir zaman boyutundan daha fazla boyuttan oluşabileceğini düşündü. Kaluza'ya göre, bildiğimiz uzay boyutlarının farkındayız, çünkü bunlar büyük ölçekli. Ancak, nasıl çok uzaktan izlediğimiz bir çamaşır ipi yalnızca bir çizgi (tek boyutlu) görünüp, silindirik biçimini,



(bükülmüş ikinci boyutunu) bizden saklıyorsa, Thomas Kaluza, bu ek boyutların da uzay-zamanın her noktasında bükülmüş biçimde, bizim algılayamayacağımız küçüklüklerde bulunabileceğini önerdi. Einstein, genel göreliliği, üç uzay ve bir zaman boyutunun oluşturduğu bir evreni betimlemek için geliştirmişti. Ancak geliştirdiği denklemlerin matematiksel biçimselliği genişletilerek daha çok boyutlu evrenler için de benzer denklemler yazılabiliyordu. Thomas Kaluza, 1919 yılında bu denklemleri beş boyutlu (fazladan bir uzay boyutlu) evrene uyguladığında, ek boyut nedeniyle yeni bir dizi denklem ortaya çıktı. Kaluza bu denklemleri incelediğinde, bunların James Clerck Maxwell'in 1880'lerde elektromanyetik kuvveti betimlemek için yazdığı denklemlerden başka bir şey olmadığını gördü. Yalnızca bir boyut eklemekle Kaluza, Einstein'ın kütleçekim kuramını, Maxwell'in ışık kuramıyla birleştirmiş oluyordu. Kaluza, bu düşüncesini hemen Einstein'a bir mektupla bildirdi. Einstein, 21 Nisan'da yolladığı yanıtında, önermenin kendisini çok heyecanlandığını belirtti. Ancak bir hafta sonra, "çürütülecek bir yan görememekle birlikte, ileri sürülen argümanların yeterince doyurucu olmadığını" söyledi. Büyük usta, iki yıl sonra düşüncesini değiştirerek, Kaluza'ya yazdığı yeni bir mektupta, makaleyi akademiye sunmaya hazır olduğunu bildirdi. 1926 yılındaysa İsveçli matematikçi Oskar Klein, Kaluza'nın modeline o sıralarda yeni yeni gelişmekte



Süpersimetri ve sicim kuramları, tanıdığımız büyük ölçekli üç uzay boyutunun dışında, küçük, kıvrılmış boyutlar öngörüyor. Bunlara örnek, tek fazladan boyut (sol üst) ile iki fazladan boyut (sağ üst ve sağ alt) ve 6 fazladan boyut (sağ alt).



olan kuantum mekaniğinden öğeler kattı ve böylece model Kaluza-Klein kuramı adıyla anılmaya başlandı.

Ancak fizik dünyasındaki heyecan, ilk deneylerle birlikte söndü. Denklemlere elektron katıldığında, kuramın bu temel parçacığın kütlesi ve elektrik yüküyle ilgili önermeleri, deney verileriyle büyük ölçüde çelişiyordu. Bu kuramla fazla yol alamayacaklarını düşünen fizikçiler, kütleçekimini bir yana bırakarak, elektromanyetik kuvvetle, daha sonra keşfedilen şiddetli ve zayıf çekirdek kuvvetlerinin mikrodünyasını araştırmaya başladılar. Bu dünyadaki etkileşimlerin kuramsal temelini oluşturan kuantum mekaniğinin başarılı öngörülleri, her seferinde deneylerle doğrulandıkça, mikrodünyanın sırları büyük ölçüde çözüldü ve parçacıkların etkileşimlerini betimleyen Standart Model 1980'li yılların başlarına kadar olgunlaştı. Bu arada kuramcılar, elektromanyetik kuvvetle, zayıf çekirdek kuvvetinin özdeş olduğunu kanıtlandılar. Modeldeki boşlukların doldurulmasının ancak bir zaman ve yeterli enerjide yeni parçacık hızlandırıcılarının devreye girmesi sorunu olduğu sonucuna varan kuramsal fizikçiler, yeniden gözlerini kütleçekimine ve Kaluza-Klein kuramına çevirdiler. Çünkü baştaki deneysel uyumsuzluğa karşın modelin temel düşüncesi, kütleçekimsel etkileşimi, elektromanyetik ve zayıf çekirdek kuvvetlerinin özdeşleşmiş biçimi olan "elektrozayıf" etkileşim ve atom çekirdeği içindeki parçacıkları birbirine

bağlayan şiddetli etkileşimle özdeş-tirmek için günümüzde yürütülen tüm çabalara damgasını vuruyor. Bunlara örnek, elektrozayıf ve şiddetli etkileşimleri betimleyen Yang-Mills kuramları. Bunlara ek olarak süpersimetri denen ve bozon ve fermiyon sınıfından parçacıklar arasında bir simetriyle de birleşince bu modeller, kuantum mekaniğiyle de tutarlı olan bir kütleçekim kuramı oluşturuyorlar. Evrendeki tüm olaylar için geçerli olacağı varsayıldığı için "Her Şeyin Kuramı" (Theory of Everything – TOE) diye adlandırılan modeller içinde en popüler olan süpersicim kuramı da bunlar ara-

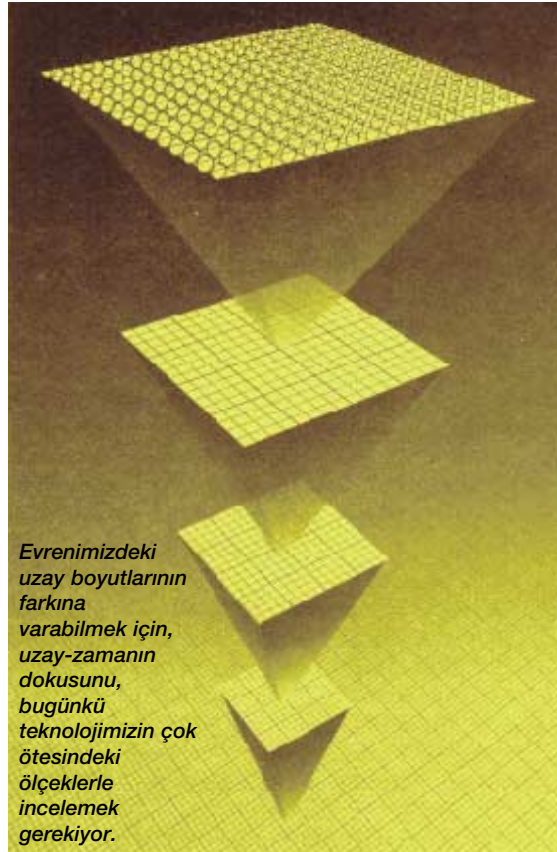
sında. ABD'nin Columbia Üniversitesi fizikçilerinden Brian Greene, "Zarif Evren" (The Elegant Universe) adlı kitabında, kuramın ayrıntılı bir betimlemesini yapıyor.

Adının da çağrıştırdığı gibi süpersicim kuramı, parçacık fiziğinde alışageldiğimiz nokta gibi ya da "sıfır boyutlu" varlıkların yerine tek uzay boyutlu uzamış cisimleri betimliyor. Ancak sicimlerin çok kısa olacağı varsayımından hareketle sicim kuramları, yüksek enerji fiziğinin alışılmış nokta parçacık modellerini yeniden üretiyorlar.

Kuram, temel etkileşimler ve bunların aracı parçacıkları için alıştığımızdan çok farklı, radikal bir resim çiziyor. Standart Model'de temel parçacıklar ve kuvvet taşıyıcı bozonlar, çeşitli kütlelerde "nokta-parçacıklar" olarak betimleniyor. Bu model içindeki TOE yaklaşımları da fazla boyutlar öngörüyor; ama parçacıklar arasındaki büyük kütle farkları, temel doğa kuvvetlerini özdeşleştirmek için gerekli simetriyi zorluyor.

Süpersicim kuramına göreyse, evrenimiz uzay-zamanda sürekli titreşen çok küçük uzamış cisimlerden oluşuyor. Bu titreşimler, tıpkı bir gitar telinin belirli bir düzende (doğal frekanslarında) titreşmesinin değişik notalar üretmesi gibi, değişik "parçacıklara", bunların kütlelerine, elektrik yükleri vb. gibi özelliklerine karşılık geliyor.

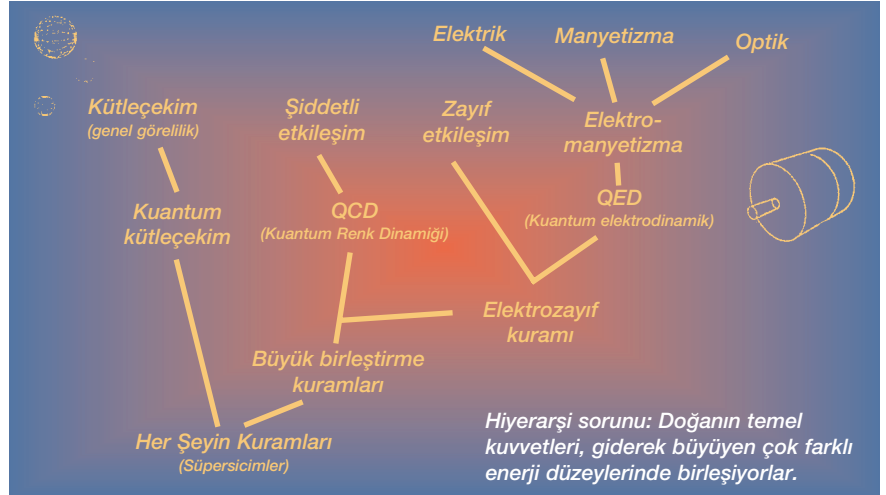
Ancak, sicimin üzerindeki gerilim, bir gitar telinin üzerindeki gerilimle karşılaştırılamayacak kadar büyük. Peki ne kadar büyük? Bir sicimin enerjisi, bir gitar ya da piyano telinde olduğu gibi titreşiminin şiddetine bağlı. Sicim kuramcıları Joel Scherk ve John Schwarz, bunu ilginç bir yolla hesaplamışlar. Bir sicimin, "sıfır kütleli" olarak tanımlanan ve kütleçekim kuvvetini iletmediği varsayılan graviton modu için titreşimiyle taşıdığı kuvvetin, sicimin gerilimiyle ters orantılı olduğunu buldular. Graviton'un taşıdığı kütleçekimi, uzak erimli olmasına karşın son derece zayıf bir kuvvet. Bu durumda, gerilim çok büyük olmalı. Gerçekten de yapılan hesaplara göre bir sicimin graviton modunda titreşme-



si için gereken gerginlik, 10^{39} ton. Kuramcılar bunu "Planck gerilimi" olarak adlandırıyorlar. Bu muazzam gerilimin de önemli üç sonucu oluyor: Birincisi, sicimlerin biçimiyle ilgili. Sicimler, gitar teli gibi iki ucundan sabit bir yere bağlanarak gerilmiş değiller. Uzay-zamanda serbest biçimde bulunduklarından bu muazzam gerilim, onların kendi üstlerine doğru bükülerek son derece küçük halkalar haline gelmelerine yol açıyor.

İkinci sonuç, sicimlerin enerjisiyle ilgili. Olağanüstü gerilim nedeniyle bir sicimin enerjisi de olağanüstü büyük. Einstein'ın ünlü denklemine göre aslında enerjiyle kütle özdeş olduğundan, bu durumda farklı frekanslara karşılık gelen "parçacık kütleleri" de çok büyük olmalı. Bu durumda, minimum sicim enerjisi olan Planck enerjisini, minimum kütleyle çevirdiğinizde, protonun 10^{19} katı bir kütle elde ediyorsunuz ki, bu, havada uçan bir toz zerreciği, ya da bir araya gelmiş bir milyon bakteri kadar bir şey. Üstelik evrendeki tüm parçacıklar, bu "minimum kütle"nin tam sayı katlarından oluşuyor. Peki bu durumda sicim kuramı, Standart Model'de bulunan ve kütleleri deneylerle doğrulanmış olan temel parçacık kütleleriyle nasıl bağdaşır? Şöyle: Kuantum mekaniğinin ünlü belirsizlik ilkesi uyarınca, uzay-zamanda hiçbir cisim tam olarak hareketsiz bulunamaz. Bu "kuantum titreşimler", sicimler için de geçerli. İşte bu titreşimlerdeki farklı büyüklükler, birbirlerini yok edebiliyor. Üstelik kuantum mekaniği, sicimlerin kuantum titreşimlerinin enerjisinin negatif olmasını gerekli kılıyor. Bu negatif enerji de, sicimlerin toplam enerjisinin, aşağı yukarı Planck enerjisi kadar bir bölümünü yok ediyor ve artakalan enerji de Standart Model'deki parçacıkların özelliklerini oluşturuyor.

Sicimlerin geriliminin yarattığı üçüncü sonuç, sonsuz çeşitlilikte titreşim biçimi olabileceği. Bunun da ussal sonucu, sonsuz çeşitlilikte "parçacık" olması gerektiği. Oysa Standart Model'deki parçacık envanteri oldukça sınırlı. Sicim kuramı bu durumu şöyle açıklıyor: Sicimin



olağanüstü gerilimi, yalnızca birkaç dışında, titreşimlere karşılık gelen parçacıkların son derece ağır olmasını gerektiriyor. Geriye kalan birkaç hafif parçaysa en zayıf titreşimlere karşılık gelen ve enerjilerinin çoğu az önce gördüğümüz nedenle yok olmuş parçalar. Çoğunluğu oluşturan ağır parçacıklardan söz ederken, Planck külesinden daha ağır parçacıklar kastediliyor. Ancak bunların saptanabilmesi için günümüzdeki parçacık hızlandırıcılarının erişebildiğinden 1 katrilyon kat daha yüksek enerji düzeyleri gerekli. Kuramcılar, bu düzeylerin evreni oluşturan Büyük Patlama'dan hemen

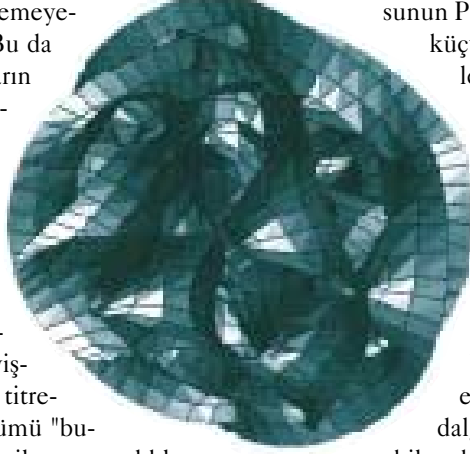
sonra, saniyenin çok küçük kesirlerinde varolmuş muazzam sıcaklıklarda oluştuğuna ve bu parçacıklardan çok sayıda ortaya çıktığına inanıyorlar. Ancak evren hızla genişleyip soğudukça, bu ağır ve kararsız parçacıkların gittikçe bozunarak en sonunda bizim tanıdığımız, görece hafif parçacıkları oluşturduğu düşünülüyor.

Sicim kuramının önemli bir savı da, elektrozayıf ve şiddetli etkileşimlerle, kütleçekimini, nokta parçacık modellerinin yapamayacağı bir biçimde birleştirerek, Her Şeyin Kuramı'nı gerçekleştirmek. Nokta parçacıklarla bu hedefin gerçekleştirilememesinin nedeni şu: Kütleçekimini açıklayan genel görelilik, düzenli bir biçimde bükülmüş bir evren geometrisini temel alıyor. Oysa mikrodünyadaki etkileşimleri betimleyen kuantum mekaniği, uzay-zamanda, gözlem ölçeği küçüldükçe şiddeti giderek artan kuantum dalgalanmalarıyla dolu bir evren öngörüyor. Planck ölçeğinin altına inildiğinde bu dalgalanmaların, çalkantıların şiddeti öylesine artıyor ki, uzay-zaman düzgünlüğünü yitiriyor ve genel görelilik kuramı geçerli olmaktan çıkıyor. Sicimlerin noktacık yerine uzay boyutlu olmaları, bu engelin aşılmasını sağlıyor. Nedeni, sicimin uzunluğunun, bu çalkantılı görüntüyü "bulandırması."

Atomaltı dünyada bir parçacığın niteliklerini öğrenmenin yolu, başka bir parçacığı bir sonda gibi ona çarpıtılarak özelliklerini incelemek. Ancak kuantum mekaniği bir parçacığın aynı anda hem momentumunun hem de konu-



munun belirlenemeyeceğini öngörür. Bu da sonda parçacıkların yapacağı ölçümlerde bir hata payı oluşturur. Bu hata payının sınırını belirleyense, bir parçacığın kuantum dalga boyu. Bir başka deyişle bir parçacığın titreşimi, yaptığı ölçümü "bulanıdırıyor". Fizikçiler, araştırdıkları parçacıklarla ilgili olarak daha duyarlı bilgiler almak için sonda olarak kullandıkları parçacıkların enerjisini arttırıyorlar. Böylece kuantum dalga boyu kısalıyor, ölçümdeki belirsizlik eşiği de daralmış oluyor. Ancak bu, kuantum mekaniğinin nokta parçacık yorumu için geçerli. Sicimlerinse boyutlu olması, burada önemli bir fark ortaya çıkarıyor. Mantığa da uygun olarak sicimler, kendi boylarından daha küçük bölgeleri tarayamıyorlar. 1988 yılında fizikçiler, sicimlerle ilgili olarak yaptıkları hesaplarda, enerjileri arttıkça bunların, nokta parçacıklar gibi daha duyarlı taramalar yapamadığını fark ettiler. Enerjisi artan bir sicim, gerçekten de önce daha küçük yapıları da incelemeye başlıyor. Ancak bir sicimin enerjisini, Planck uzunluğunun incelenmesi için gereken düzeyin üstüne çıkardığınızda, inceleme duyarlılığı artık artmıyor. Tersine, sicim "büyümeye" başlıyor. Kuramcılarına göre, sicimleri nokta parçacıklara göre farklı ve üstün kılan şey, iki ayrı bulanıklık özelliklerinin olması. Birinin kaynağı, nokta parçacıklarda olduğu gibi kuantum titreşimler, yani kuantum dalga boyu. Bunun üstüne sicimin bir de kendi boyutunun sağladığı ek bir bulanırması var. Sicimlerin normal boyutu, Planck uzunluğu kadar. Planck uzunluğunun altındaki ölçeklerdeki evrende neler olduğunu aramak için sicimin enerjisini yükselttiğinizde, dalga boyunu ve bunun sağladığı bulanıklığı azaltabiliyorsunuz. Ama enerji arttıkça, bir yandan da sicim büyümeye başlıyor. Dolayısıyla ne yaparsanız yapın, bir sicimle Planck uzunluğunun altındaki ölçekteki evreni araştırmanız olanaksız. Oysa, genel görelilikle, kuantum mekaniği arasındaki uyumsuzluk, uzayın doku-



sunun Planck uzunluğundan küçük ölçekteki özelliklerinden kaynaklanıyor. Ama eğer evreni oluşturan temel madde, Planck ölçeği altındaki uzunlukları göremiyorsa, ne o, ne de ondan yapılmış herhangi bir şey, çok kısa erimli yıkıcı kuantum dalgalanmalarından etkilenemez.

Gelelim yine boyutlara. Doğanın temel kuvvetlerini özdeşleştirmek için fazladan boyutlara gereksinim olduğunu ve bu boyutların, bizim tüm algılama teknolojinin ötesindeki küçüklüklerde kıvrılmış olarak bulunduğunu gördük. Nasıl bizim tanıdığımız üç uzay boyutu (ileri-geri, sağ-sol, üst-alt) uzayın her noktasında varsa ve zaman boyutuyla birleşerek bizim referans çerçevimizi oluşturuyorsa, bu fazladan boyutlar da gene uzayın her noktasında bulunuyor. Kaluza'nın modeli, bir fazla boyuttan yola çıkarak, kütleçekimiyle elektromanyetizmayı özdeşleştirmeye yönelik bir çabaydı. Gene gördük ki, modelin matematiği, deneylerle örtüşmedi. Bunun üzerine kuramsal çalışmalar, birden daha fazla ek boyutlar üzerinde yoğunlaştı. Fazladan her boyutun oluşturabildiği değişik geometriler ortaya çıktı. Ancak ortaya bir de sorun çıktı: Kuantum mekaniğine göre bir olayın gerçekleşme olasılığının "0" ile "1" arasında bir yerde bulunması gerekirken, ek boyutlu bazı modellerde olasılık hesapları negatif çıkıyordu. Sonunda fizikçiler dokuz uzay boyutlu bir evrende bu olumsuz sonuçların ortadan kalktığını fark ettiler. Bu nedenle ötedenberi, süpersicim kuramlarının ancak 10 boyutlu uzay zamanlarda geçerli olabileceği düşünül-

lüyordu. Bu boyutlardan dokuzu uzaysal boyutlar, biriyse zaman boyutu. Gene süpersicim kuramına göre, tanıdığımız büyük ölçekli üç boyutun dışındaki altı küçük uzay boyutu, birbirlerinin üzerine bükülmüş biçimde tanıdığımız boyutlara yapışık olarak her noktada bulunuyorlar. Uzay-zamanda titreşip duran sicimler, tanıdığımız üç boyutun yanı sıra, bu altı ek boyut içinde de titreştiğinden, nasıl bir müzik aletinin içinden geçen hava, aletin iç yapısındaki kanallardan geçip engellere çarparak sonuçta bir ses oluşturuyorsa, boyutların birbiri üzerine bükülü yapısı da titreşimlerin biçimini ve dolayısıyla da bunlara karşılık gelen nokta parçacıkların özelliklerini belirliyor. Ek boyutlar çok çeşitli yapılar alabiliyor. Kimi tek delikli çörek biçimli, kimi ikili ya da üç delikli çörekler, ya da çok daha fazla delikli yapılar biçiminde oluşabiliyor. Delik sayısı, 480'e kadar çıkabiliyor. Sicim kuramı, bu geometrilerin, daha doğrusu şekillerdeki delik sayısının, Standart Model'de, birbirlerine çok yakın özellikler taşıyan parçacıkların oluşturduğu "aile"leri ya da "nesilleri" belirlediği iddiasında.

Bu sarılmış altı boyutun çok çeşitli geometrilerine, bu karmaşık biçimleri hesaplayan matematikçiler olan Pennsylvania Üniversitesi'nden Eugenio Calabi ile, Harvard Üniversitesi'nden Shing-Tung Yau'nun onuruna Calabi-Yau Uzayları, Calabi-Yau Şekilleri, ya da Calabi-Yau manifoldları deniyor. Uzay zaman içinde hareket eden her şey, bizim tanıdığımız üç boyutun içinden geçtiği gibi, aynı anda bu ek altı boyutun oluşturduğu kapalı yüzeyin içinden de geçiyor. Örneğin en basit biçimlerinden biri, "8" biçimli bir çöreğin daha yüksek boyutlu bir benzeri sayılabilecek bu manifoldun, $R_{Calabi-Yau}$ denen bir ölçeği var. Fazladan boyutları deneysel olarak izleme yeteneğimizle çelişmesin diye bu ölçeğin son derece küçük olduğu varsayılmış. 10^{-33} cm olarak kabul edilmiş bu ölçek, kütleçekimin kuantum kuramındaki Planck uzunluğuna eşit. Bu da, elektrozayıf parçacık fiziği deneylerinde incelenmiş en küçük uzunluk olan 10^{-17} cm'den (santimetrenin yüz katrilyonda biri) çok daha küçük bir ölçek.

Şimdiye değin, evrende Hubble Yarıçapı (10^{28} cm ya da yaklaşık 10 milyar ışık yılı) içindeki gözlemleri, evren daha

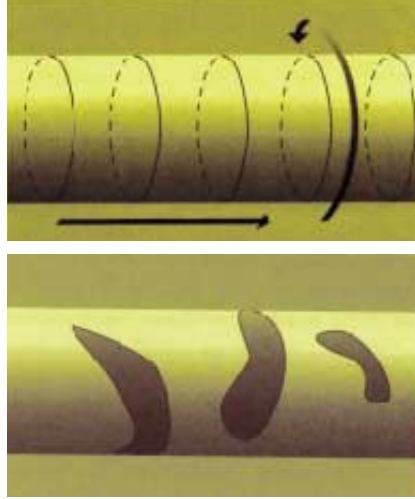


Calabi-Yau şekillerindeki deliklerin sayısı, "parçacık"ların özelliklerini belirliyor.

yalnızca birkaç Planck uzunluğundayken geçerli olan özellikleriyle açıklamak isteyen evrenbilimciler, sicim kuramını ya tümüyle dikkate almadılar, ya da kuramla gözlemleri bağdaştıramadılar. Böyle olunca da Calabi-Yau modeli, olgusal parçacık fizikçileriyle Büyük Patlama evrenbilimcilerin dünya görüşlerinin çerçevesi dışında kaldı.

Ancak son zamanlarda işler biraz değişmeye başladı. Parçacık fiziğinin "hiyerarşi sorunu" ile ilgili yeni yeni düşünceler ortaya çıktı. Bu sorun, elektrozayıf etkileşimlerin ölçeği (10^{-17} cm) ile, Büyük Birleşme (Grand Unified Theory – GUT) ölçeği (10^{-28} cm) arasındaki uyumsuzluk. Kuantum mekaniğindeki belirsizlik ilkesine göre incelemek istediğiniz ölçek ne kadar küçükse, kullanmanız gereken enerji de o ölçüde büyük. Bu durumda küçük Planck ölçeğini inceleyebilmek için gerekli enerji, 10^{19} GeV. Yani 10 milyar kere milyar kere milyar elektronvolt!..Bu, günümüzdeki hızlandırıcılarda elde edilebilen enerji düzeylerinden 100 trilyon kat fazla. Böylesine muazzam enerjileri oluşturacak parçacık hızlandırıcıları da elbette o ölçüde görkemli olacak. Bazı fizikçiler, böyle bir hızlandırıcının, gökadamız boyutlarında olması gerektiğini hesaplıyorlar. Kimilerine göreyse, bu iş için evren genişliğinde bir parçacık hızlandırıcısı gerekli. Açık ki, ne Büyük Patlama'nın ilk anlarında varolabilmiş böylesine enerji düzeylerine, ne de gökada büyüklüğünde hızlandırıcılara sahip olabileceğiz. Bu durumda mikrodünyanın sırları, sır olarak kalmaya mahkum mu? Sicim kuramı, kanıttan yoksun mu kalacak? Doğa kuvvetlerinin özdeşleştirilmesi, Her Şeyin Kuramı, birer fantezi olarak mı kalacak?

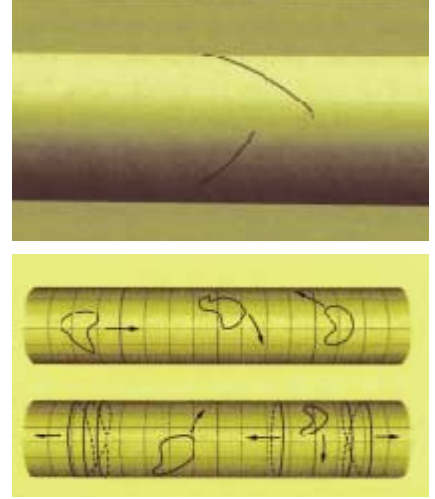
Galiba değil... Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı CERN'de görevli fizikçiler, yürüttükleri kuramsal çalışmalarda, elektrozayıf ve şiddetli kuvvetlerin, 10^{16} GeV enerji düzeyinde de



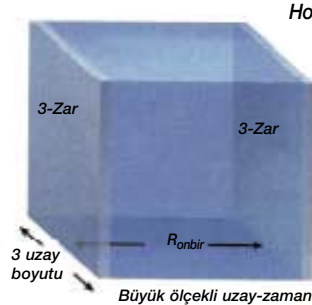
Sicimler, boyutlar üzerindeki konumlarına göre farklı biçimler alabiliyorlar: Tek boyutlu, iki ya da daha çok boyutlu, açık ya da halka biçimli olabiliyor.

birleşebileceğini gösterdiler. Hatta aynı kuramcılara göre biraz daha zorlanınca, büyük birleştirme 1TeV (trilyon elektronvolt) gibi, günümüz parçacık hızlandırıcılarının erişmek üzere oldukları bir enerji düzeyinde de gerçekleşebilir. O halde bu kuvvetlerin özdeşleştirilmesini sağlayacak süper parçacık eşleri de tünelin ucunda. Bunun için de, CERN fizikçilerine göre tanıdıklarımızın dışında bir beşinci boyut bile yeterli. Ancak bunun için süpersicim kuramını da biraz zorlamak gerekiyor. Hatırlanacağı gibi kuram, fazladan boyutları Planck ölçeği büyüklüklerinde betimliyor. Oysa beşinci boyut 10^{33} (Planck) ölçeğinde değil de, çok daha büyük, örneğin 10^{17} cm ölçeğinde olursa, mikrodünyadaki kuvvetlerin büyük birleşmesi gerçekleşiyor.

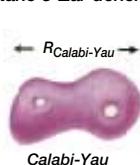
Stanford Üniversitesi fizikçilerinden Nima Arkani-Hamed ve Savas Dimopoulos ile, İtalya'nın Trieste kentindeki Abdus Salam Uluslararası Kuramsal Fizik Merkezi'nden Gia Dvali, daha da radikal bir düşünce ortaya atıyor. Bu kuramcılara göre beşinci boyutun ölçeği, bir milimetre bile olabilir. Bu, bırakın hızlandırıcılardaki dedektörlerin, çıplak gözün bile görebileceği bir ölçek!.. Üç kuramcıyı bu



iddialı önermeye ulaştıran hedef, "hiyerarşi sorunu"nu çözmekti. Yani elektrozayıf birleşmenin düşük enerjisi (100 GeV) ile, öteki birleştirme düzeyleri arasındaki uçurumu kaldırmayı hedefliyorlardı. Araştırmacılar, zayıf kütleçekimin öteki kuvvetleri kadar güçlendiği (özdeşleştiği) Planck ölçeğinin, elektrozayıf ölçeğine (100 GeV) indirilmesiyle sorunun çözüleceğini düşündüler. Ancak bunun için iki ya da daha fazla ek boyut gerekiyordu. Bu boyutların ölçekleriye bir milimetrenin biraz altında olmalıydı. Böylesine büyük boyutları algılayamıyor olmamızıysa, aynı kuramcılar, bunların yalnızca kütleçekimince algılanmasıyla açıklıyorlardı. Arkani-Hamed ve arkadaşlarının önerdiği mekanizma şöyle işliyor: Kuantum mekaniğine göre temel parçacıklar, aynı zamanda birer dalga gibi davranabiliyor. Bu parçacıklar, uzay zamandaki ek boyutların içinden geçerken de, sicimler, birbirleri üzerine kıvrılmış küçük ek uzay boyutları içinden geçerken, bu parçacıklara karşılık gelen dalgalar, boyutların kıvrımları içinden geçerken bir takım yankılara yol açıyorlar. Kaluza-Klein ya da kısaca KK durumları denen bu yankılar da bize yeni parçacıklar gibi görünüyor. Arkani-Hamed ve arkadaşları, düşüncelerini işte bu Kaluza-Klein yankılarına bağlıyorlar. Kuramcılara göre kütleçekiminin taşıyıcı parçacığı olan gravitonun KK yankıları, normal olarak "0" kütleli bu parçacığı 100 mikrometrenin (1 mikrometre=metrenin milyonda biri) milyonlarca kat kuvvetlendiriyor ve hatta itici hale getiriyor. Stanford üniversitesinde bu öner-



Horava ile Witten'in 11 boyutlu uzay-zamanı. Altı boyut kıvrılarak bir Calabi-Yau manifoldu oluşturuyor. Bu topağın ölçeği, karakteristik $R_{Calabi-Yau}$ ölçeği. Geri kalan 4 uzay boyutuyysa, iki tane 3-Zar denen üç boyutlu ayna yüzeyi içeriyor.



Soldaki 3-Zarın her noktasıyla ilintili olacak bir Calabi-Yau manifoldu (sağda) bulunuyor. Yeni gelişmeler, $R_{önbir}$ uzaklığının 1 mm kadar büyük olabileceğini gösteriyor. Alternatif bir kurama göreyse evren, sonsuz büyüklükte bir uzayda gezinen tek bir 3-Zar içerebilir.

meyi sınavacak deneyler için çalışmalar yürütülüyor.

1996 yılında Edward Witten, bazı açık sicim kuramlarında, ek (11.) bir boyutun, sicim ölçeğini 10^{16} GeV (yalnızca elektrozayıf ve şiddetli kuvvetler için olan) enerji düzeyine indirebileceğini söyledi. Fermilab'dan Joseph Lykken ise, sicim (Her Şetin Kuramı) enerji ölçeğinin, 1 TeV düzeyine indirilebileceğini önerdi. Evreni her ölçekte açıklayabilecek tek bir kural elde etme dürtüsü öylesine güçlü ki, henüz bırakın yeterli deney araçlarını, yeterli bir matematiği bile bulunmayan kuramlarda biraz düşünce cambazlığı kaçınılmaz oluyor. CERN'den Keith Dienes'e göre ek boyutlardan bir-ikisi, büyük birleştirme enerji düzeyini, geriye kalanlar da (1 mm'ye kadar olan ve yalnızca kütleçekiminin gördüğü boyutlar) Planck ölçeğini düşürmek için kullanılabilir!..

Özetle, bu yeni düşüncelere göre boyutların küçülmüş ölçekleri çok daha büyük olabilir. Ayrıca bu yeni öneriler, geçerli kozmolojik düşüncelerimizin de radikal biçimde gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koyuyorlar.

Bu arada sicim kuramında şiddetli-zayıf birleşme dualiteleriyle ilgili başka kuramsal ilerlemeler de kuantum Yang-Mills kuramıyla ilgili anlayışta da büyük ilerlemeler sağladı. Dualitelerin gerisindeki temel düşünce, görünürde tümüyle farklı iki kuramın (örneğin farklı boyut sayıları üzerinde geliştirilmiş), aslında aynı olmasa bile birbirleriyle yakından ilintili olabilmesi.

California Üniversitesi (Santa Barbara) kuramsal fizikçilerinden Joe

Polchinski, bu dualitelerden yararlanarak, 1995 yılına kadar yalnızca zayıf etkileşimler için önerilen sicim modelini, şiddetli etkileşimler için de kullanılabilecek yararlı bir araç haline getirdi. Bunun aracı da, gene kendisi tarafından 1989 yılında betimlenen D-zarları. Bunlar, değişken özellikli nesneler. Bazı D-zarları tek boyutlu, sicim biçimli olurken, ötekiler, iki, üç ya da daha çok boyutlu olabiliyor. Polchinski, D-zarlarının genel tanımını, "bir yüzey üzerinde sona eren sicimler" olarak veriyor ve daha iyi anlaşılması için bir masa ve ona bitişen ayaklarını örnek gösteriyor. D-zarların özelliği, ikisinin yan yana geldiklerinde aralarındaki elektromanyetik itimle, kütleçekiminin birbirlerini götürmesi. Böylece bu zarlar, kuramsal olarak birbirleri üzerine eklene eklene istenen boyutta yapılar elde edilebiliyor. Yani çok-boyutlu D-zarlarını, çok boyutlu küçülmüş uzayların (Calabi-Yau şekilleri) üzerine dolayabiliyorsunuz. Ve bunları yeterli sayıda ve doğru biçimde üst üste koyarak muazzam yapılar elde edebiliyorsunuz. Bu (lego) yapılar, büyük ölçeklerde, bir kara deliğin muazzam çekim gücüne de sahip olabiliyor. Yani salt sicimlerle yapıldığı halde genel görelilikçe betimlenen kütleçekiminin özelliklerini sergileyen yapılar...

Petr Horava ve Edward Witten de, dualiteler yardımıyla 10-boyutlu Calabi-Yau modeliyle, yukarıda sözedilen 11 boyutlu uzay-zaman arasındaki ilintiyi ortaya koymayı başardılar. Yaptıkları, 11. bir yön eklemek. Bu doğrultu üzerinde ayna yüzeyler (R_{onbir} eşit uzaklığında diziliyor. R_{onbir} $R_{Calabi-Yau}$ en

az bin kat ve belki de çok daha büyük. Eğer 6 boyutlu küçük Calabi-Yau manifoldunu dikkate almazsak, artakalan beş boyutlu uzay-zaman iki tane düz ayna yüzey içeriyor ve Kaluza ile Klein'in düşüncelelerini büyük ölçüde yansıtıyor. Aslında her ayna yüzey statik, üç boyutlu bir zar. Bunlardan birisi bizim evrenimiz, ötekiyse bazı fenomenologların "gizli sektör" diye adlandırdıkları, gene maddeden oluşan ama bizim evrenimizle yalnızca zayıf biçimde, o da genel olarak kütleçekimsel kuvvetlerle etkileşen bir evren.

Son sıralarda ortaya atılan daha da radikal bir önermeye, küçülmüş boyutlar varsayımının tümüyle terk edilebileceği düşüncü yeniden canlandırılan Randall ve Sundrum'dan geliyor. İki fizikçi, evrenimizin, sonsuz büyüklükte bir uzay zaman içinde gezinen yalıtılmış bir 3-zar olarak tasarlanması gerektiğini söylüyorlar. Gerçi Randall ve Sundrum'un beş boyutlu evreninin gene de karakteristik yarıçaplı küçük bir eğriliği var, ama bu evren dört uzay boyutunda da sonsuz. Bizim yapılı olduğumuz maddeyse, bir tele dizilmiş boncuklar gibi 3-zar üzerinde bulunuyor. Kütleçekimi, tüm boyutlarda etkili. Ancak Randall ve Sundrum'un başarılarından biri, kütleçekiminin bizim üç boyutlu evrenimizde doğru biçimde davranabildiğini göstermiş olmak. Bu iki fizikçinin çalışmalarından önce hiç kimse, böyle bir modelin, Newton'un kütleçekim için geliştirdiği ters kare yasasıyla tutarlılık göstereceğine inanmıyordu. Ancak Randall ve Sundrum artık bu konudaki kuşkuları büyük ölçüde gidermiş görünüyorlar.

Tümüyle doyurucu bir evrenbilim için daha yapılması gereken çok şey var. Ancak gerek Randall ve Sundrum, gerekse de halen bu alanda çalışmakta olan başkaları, küçük ek boyutlara dayalı zar evren senaryolarının, hem Büyük Patlama sırasındaki çekirdek sentezi, hem de yeni parçacıkların varlığı konusunda evrenbilimcilerce doğrulanacak ya da çürütülecek sınanabilir önermeler yapabildiğini açıkça göstermiş bulunuyorlar.

Raşit Gürdilek

Kaynaklar
Chown, M., "Five and Counting", New Scientist, 24 Ekim 1998
Gibbons, G., "Brane Worlds", Science, 7 Ocak 2000
Greene, B., "The Elegant Universe", W. W. Norton Company, Londra, 1999
Taubes, G., "String Theorists Find a Rosetta Stone", Science, 23 Temmuz 1999
<http://www.sciam.com/1999/1299issue/1299weinberg.html>