

Yeni Yüzyıl Yeni Fizik

YENİ YÜZYIL, ötekilere pek benzemeyecek. İnsan ömrünü aşan bu uzun zaman dilimlerinin daha önce de büyük toplumsal olayların, bilimdeki atılımların damgasını, adını taşıdığı olmuştur: "Aydınlanma Çağı", "Keşifler Çağı", "Ulusal Devrimler Çağı", "Bilgi Çağı" gibi. Ne var ki, bunların hiçbiri 21. yüzyıl kadar, uygarlık tarihimizde yepyeni bir sayfa açmaya aday değil. Bu yalnızca 2000'in görkemli sıfırlarının bir başlangıç duygusu yaratmasından kaynaklanmıyor. Şimdiye kadar Evren'in nasıl ortaya çıktığı, neden gördüğümüz gibi olduğu, hatta neden var olduğu, biçimi ve geleceği gibi bir türlü tam olarak yanıtlayamadığımız sorular aydınlanmak üzere. Tek bir Evren mi var, yoksa sabun köpüğü gibi uçuşan sınırsız sayıda evrenden biri miyiz, önümüzdeki birkaç yıl içinde anlayacağız. Doğada bildiğimiz dördü dışında temel kuvvetler mi var? Barındırdığı sayısız gökadayaya karşın bomboş gibi görünen Evren'i ayakta tutan ne? Sonu, daha doğrusu sonsuzluğu, ne biçim alacak, göreceğiz. Şimdiye değin maddenin zıt ikizi sandığımız karşı maddenin sırları çözülmek üzere. Daha Evren'in başlangıcındaki kardeş

kavgasında neden maddenin kıl payı farkla üstün geldiğini anlayabileceğiz. Bir süredir işaretlerini algıladığımız, ancak bir türlü gözleyemediğimiz gizemli "karanlık madde" de sırlarını teslim etmek üzere. Kozmolojik ölçülerde geçerli fizik yasalarıyla, atom ve daha küçük ölçeklerdeki yapıları ve dinamikleri yöneten ama birbirleriyle uyuşmayan iki temel kuramın bağdaştırılması, yani doğanın dört temel kuvvetinin özdeşleştirilmesi çalışmaları olgunlaştı. Ülkemiz için gurur verici bir olgu, uluslararası bilim çevrelerinde yaygın olarak tartışılan bu modeller arasında Türk bilim adamlarınca geliştirilenlerin de olması. Önümüzdeki yıllar gerek kozmos ölçeğinde, gerekse de atomdan küçük ölçeklerde büyük sonuçlar doğuracak keşiflere gebe. Bunlar belki tıp gibi, biyoloji gibi, kimya gibi, günlük yaşantımıza daha çok yansıyan bilim dallarını pek etkilemeyecek. Ama insanın Evren'le ilişkisini, belki de ilk kez kuşkuyla yer bırakmayacak kadar açık biçimde tanımlayacak. O halde yeni yüzyıla bir ad koyacak, yeni fiziğin çağı demek herhalde yanlış olmaz.

20. yüzyıl fizik alanında insanlığa iki altın kuram hediye etti. Bunlardan biri, Einstein'ın geliştirdiği ve evren-

sel boyutlarda kütleçekim kuvvetinin işleyişini açıklayan genel görelilik. İkincisiyse, atomaltı dünyanın garip kurallarını betimleyen kuantum mekaniği. Her iki kuram da öylesine alışılmadık savlarda bulunuyordu ki, yüzyılın büyük kısmı önce bunları anlamaya çalışmak, daha sonra da olağan üstü başarılarını gözlemleyip hayrete düşmekle geçti.

Genel göreliliğin önerilerini az çok kavradık sayılır. Gerçi uzay-zaman kavramı, yaşadığımız dünyanın üç boyutuna koşullanmış zihinlerimiz için öyle biraz sıkıntıya girmeden canlandırılabilir bir şey değil ama, kendimizi biraz zorlayınca bir dördüncü boyutun varlığını mantık yoluyla kavrayabiliyoruz. Aynı biçimde, kütleçekim kuvvetinin uzay-zaman eğriliğinin bir sonucu olduğu da, ilk bakışta kavranacak bir şey değil. Ancak biraz kitap dergi karıştırınca bu, bizler gibi sıradan insanlar için bile anlaşılır olabiliyor. Ama eğer fizikçi değilseniz, kuantum mekaniği konusunda sağda solda dersler vermeye kalkmayın!. Öyle mantıktan falan da yardım beklemeyin: Herhangi bir şey aynı zamanda hem parçacık, hem de dalga olabilir. Bilim deyince aklımıza gelveren kesinliği de unutun; bu kuramın en ke-

sin iddiası, hiçbir şeyin kesin olamayacağı. Bu dünyayı yöneten kural, belirsizlik. Daha da acaibi, gerçek olarak gördüğümüz herhangi bir şey, birçok olası gerçeğin rastlantısal bir görünümü. Genel görelilik ve kütleçekim kuvvetinin o rahatlatıcı sürekliliğine karşılık kuantum dünyası atlamalar, sıçramalar, delikler ve tünellerle dolu karmaşık bir dünya. Bilim adamları bile bu garip dünyanın kurallarını tam anlamıyla kavradıkları iddiasında değillerdi kısa süre öncesine kadar. Şimdiyse sesleri biraz daha güvenli.

Bir Renk ve Tat Cümbüşü

ABD ve Avrupa'da giderek güçlenen parçacık hızlandırıcıları, neredeyse Büyük Patlama enerjilerini laboratuvarlara taşıyorlar. Elektromanyetik kuvvetin foton adlı kütleless parçacıklarla işleyişini açıklayan Kuantum Elektrodinamik Kuramı, 20. yüzyıl'ın olağanüstü başarılarından. Bu kuram, kuvvetlerin "büyük birleşme"sinde ilk adımı atarak, elektromanyetik kuvvetle, zayıf çekirdek kuvvetini birleştirdi bile. Şiddetli çekirdek kuvvetinin sınırları da 21. yüzyılın hemen başlarında teslim olacak gibi.

Artık atomu oluşturan parçacıkları, bunları etkileyen kuvvetleri, bu kuvvetleri taşıyan parçacıkları aşağı yukarı tanıyoruz. Bunlardan başlıcaları, fermiyon adını verdiğimiz madde bileşenleriyle, bozon denen kuvvet taşıyıcı parçacıklar. Fermiyonların bir bölü-



mü kuarklar. Atom çekirdeğindeki proton ve nötronlar, kuark denen madde yapı taşlarının üç ayrı "renginin" birleşmesinden oluşuyor. Elektrozayıf ve şiddetli çekirdek kuvvetlerin parçacık ve etkileşimlerini betimleyen "Standart Model", kuarkların kırmızı, yeşil ve mavi olarak üç ayrı renkte bulunduğunu kabul ediyor. Doğal ki, sözü edilen renkler gerçek değil. Değişik kuark sınıflarını betimlemek için başvurulan bir teknik. Kuarkların "yukarı", "aşağı", "garip", "tılsımlı", "alt" ve "üst" diye adlandırılan ve "tat" olarak betimlenen, farklı kütle ve spini (dönmesi) olan altı ayrı türü var. Ve elbette ki, her parçacığın olduğu gibi birer karşı parçacığı... Bu temel yapı taşları, değişik üçlü bileşimlerle bir araya geliyorlar. Her biri, ışık hızıyla, neredeyse saniyede 100 milyar trilyon kez salınarak artı elektrik yüklü proton, ya da

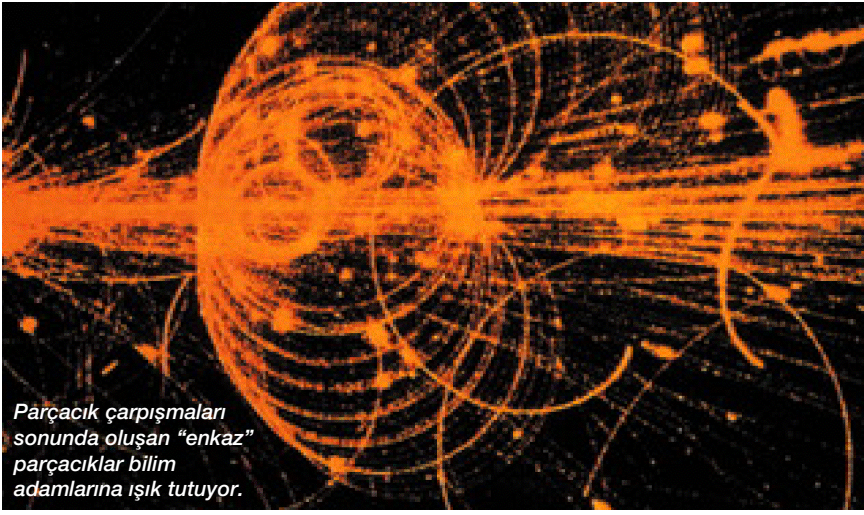
yüksüz nötron gibi enerji bulutlarını oluşturuyorlar. Fermiyonlar sınıfında, kuarkların yanısıra bir de "lepton" denen, daha küçük kütleli parçacıklar bulunuyor. Bunların bir bölümü, eksi elektrik yüklü elektron ve onun benzeri olan muon ve tau adlı parçacıklar. Ayrıca bunların her biri için, ayrı bir nötrino türü bulunuyor: Elektron nötrinosu, muon nötrinosu ve tau nötrinosu. Nötrinolar elektrik yükü taşımadıkları için son derece zayıf etkileşimli parçacıklar. Standart Model'de bunlar için de karşı parçacıklar bulunduğunu belirtmeye gerek yok. Son yıllara kadar kütleless sanılan nötrinoların kütleyle sahip olduğunun kanıtlanması, önümüzdeki yıllarda atomaltı ve kozmolojik ölçekte fizik kuramlarında köklü değişiklikler yapmaya aday bir gelişme.

Atom dünyasının içine girdik, parçalarını tanıdık. Peki böylesine yüksek enerjili parçalar nasıl oluyor da alıp başlarını, canlarının çektiği yere gitmiyorlar da uyum içinde bir arada kalıp etkileşiyorlar? Bu uyumu sağlayan, tanıdığımız madde bileşenleri arasındaki etkileşime aracılık eden, yani kuvvetleri taşıyan "bozon" adlı parçacıklar. Bunlardan bilinenleri, elektrozayıf bütün içinde elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı olan kütleless ve yüksüz fotonla, parçacık bozunmasından sorumlu olan zayıf etkileşimin aracısı, artı ve eksi yüklerde iki ayrı W bozonu ve yüksüz Z bozonu. Proton ya da nötron gibi enerji yumaklarını bir arada tutan, bunları atom çekirdeği içinde sıkı sıkıya birleştiren şiddetli kuvvetin aracısıysa, gluon adlı kütleless ve elektrik yüksüz sekiz adet parçacık. Bu kuvvetin ve gluonların işleyişini Kuantum Renk Dinamiği (quantum chromodynamics) adlı kuram açıklıyor. Bu kurama adını veren "renkler", anımsayacağımız gibi değişik "tat"lardaki kuarkların ayrı bir özelliği.

Buna parçacıkların "renk yükü" de deniyor. Şiddetli etkileşimlerde gluon alışverişinde bulunan parçacıklar, işte bu renk yüklü parçacıklar. Leptonlar ile, bozonlar (foton ile W ve Z bozonları) renk yükü taşımadıkları için aralarında şiddetli etkileşim olmuyor. Temel parçacık bileşimlerinden (kuark ve antikuarkların üçlü yada ikili bileşimlerinden) oluşan ve "hadron" adını verdiğimiz parçacıklar da renk yükü



Garsching'deki Max-Planck Plazma Fiziği Enstitüsü'ndeki gibi füzyon reaktörlerinde yıldızların merkezlerindeki sıcaklıklara ulaşıyor.



Parçacık çarpışmaları sonunda oluşan "enkaz" parçacıklar bilim adamlarına ışık tutuyor.

taşıyorlar. Çünkü doğada gözlerimizle algıladığımız üç temel rengin üstüste geldiklerinde beyaz (yani renksiz) hale gelmeleri gibi, sanal "renk" yüklü kuarklar da uygun üçlü bileşimlerde bir araya gelince "renk" ortadan kalkıyor.

Hadronların, aynı elektrik yükü taşıyan üçlü kuark bileşimlerinden olan türüne (örneğin proton, anti-proton, nötron, lambda, omega gibi), fermiyonik hadron, ya da "baryon" deniyor. Bir kuark ve bir farklı antikuark arasındaki çeşitli ikili bileşimlerden oluşan hadronlaraysa bozonik hadron, ya da "mezon" adı veriliyor. Bu baryon ve mezonlar niçin önemli? Şundan: şimdiye kadar gördüğümüz etkileşimler,

temel parçacıkların ayrı ayrı, proton ve nötron gibi "fermionik hadron" oluşturmalarını açıklıyor. Oysa bunların da atom çekirdeği içinde bir araya gelmeleri gerekli. İşte bu birliği, hadronlar arasındaki mezon alışverişi sağlıyor.

Aynalar Yalan Söyleyebilir

Bilim adamları, bu karmaşık dünyanın sırlarını aydınlatmada epey yol aldılar. Ancak bu alanda, kuantum elektrodinamiği kadar kesin konuşmuyoruz henüz. Çünkü kuarkların proton ve nötron gibi üçlü birleşimlerinin dışında "melez" denen farklı birleşim

türleri olabileceği, hatta "glueball" diye adlandırılan saf gluon parçacıklarının da varlığı, kuramsal olarak kabul ediliyor. Ama bunlar gözlenebilmiş değil. Bu belirsizlik son çeyrek yüzyılda başarıyla ayakta kalabilmiş Standart Model'i de zorluyor. Modeli zorlayan bir başka soru daha var. bu da maddeyle, karşıtı anti-madde arasında varolan, Evren'i ve yaşamımızı kendisine borçlu olduğumuz "çok küçük" eşitsizliğin nasıl ortaya çıktığı sorusu. Fizikçiler yıllardır madde ve antimadde arasında bir yük eşlenikliği (Charge Parity - CP) bulunduğuna inanıyorlardı. Yani madde ya da antimaddeyi alıp, elektrik yüklerini değiş tokuş etseniz ve ayna görüntülerini değiştirmek için tepe taklak etseniz, aynen birbirleri gibi davranmaları gerekiyordu. Bu eşleniklik, doğanın egemen kuvvetleri olan elektromanyetik kuvvet ve şiddetli çekirdek kuvveti için geçerliliğini koruyor. Gelgelelim, mezonlarla ilk kez 1964 yılında yapılan bir deney, zayıf etkileşimin bu eşlenikliği yansıtmadığını ortaya koydu. Mezonlar, yukarıda gördüğümüz gibi, bir kuarkla, farklı tatta, ama karşıt renkte bir antikuark arasında çok kısa süren bir beraberlik anlamına geliyor. ABD'li fizikçiler Ja-

Ankara'daki Odamdan Bilimin Sınırlarına Uzanmak...

Prof. Dr. Tekin Dereli
ODTÜ Fizik Bölümü Öğretim Üyesi

Bilim ve Teknik Dergisi'ndeki görevimin bir parçası olarak, fizik ve matematik konularında çıkacak yazıları önceden okuyup gerekirse düzeltmeler ya da eklemeler önermekteyim. 22 Şubat akşamı Zafer Karaca beni evden arayarak bir yazıyı acele gözden geçirebilir miyim diye sorduğunda ilginç bir deneyim yaşayacağımı düşünmemiştim. Ertesi sabah bölümdeki odama gidip gece bana fakslanmış yazıyı aldım ve okumaya başladım. Sonlara doğru beni hoş bir sürpriz beklemekteydi. 1998 Ağustos ayında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde hazırlayarak yayına yollamış olduğumuz bir makalede öne sürdüğümüz fikirlerle karşılaşmıştım. Doğada bilinen tüm madde alanlarını ve aralarındaki etkileşme kuvvetlerini kapsayabilen süpersicim kuramlarının etkilerinin sanıldığı gibi sadece Planck ölçeklerinde görülebileceğinin doğru olmadığı, bugünün parçacık hızlandırıcılarında ulaşılabilen enerjilerde de sicim etkilerinin kendilerini gösterebileceklerinin öne sürüldüğü, bu yönde bazı deneylerin

ABD'de Stanford Üniversitesi'nde çalışan kuramsal fizikçilerce önerildiği anlatılmaktaydı. Halbuki biz de aynı nitelikteki fikirleri daha basit bir model üzerinde tartışarak bir makale haline getirmiş bulunuyorduk. Böylece okuduğunuz ana yazı bana bilimin anlamı nedir, kapsamı ne olmalıdır ve özellikle Türkiye'de çalışan bir bilim adamı hangi amaçları hedeflemelidir gibi konularda kendi çalışmalarından somut bir örnek vererek düşüncelerimi aktarmak fırsatını yaratmış oldu.

Geçen Ağustos ayında, yirmi yıldan beri or-

tak araştırmalar yaptığım İngiliz kuramsal fizikçi Profesör Robin Tucker'ı TÜBİTAK'ın Bütünleştirilmiş Doktora Programı kapsamında araştırmalar yapmak ve seminerler vermek üzere ODTÜ'ye çağırdım. Bir önceki yaz ben İngiltere'ye gitmiş ve birlikte iki konferansa katılmıştık. Bu arada daha önceki yıllardan süregelen çalışmalarımızı her yaz yaptığımız gibi kaldığı yerden ele almış ve dalga denklemleri ilk kez 1937'de yazılmış olan kütleli fotonlarla etkileşen Einstein alan denklemlerinin kesin çözümlerinin henüz bulunamamış olduğunu hayretle görmüştük. Bir çıkış yolu olarak etkin sicim alan kuramlarıyla kütleli foton alanlarının dört boyutlu uzay-zamanda etkileşmesini göz önüne alarak, böyle bir kuramda varolan ve Cremmer-Scherk dualitesi adı verilen bir yöntemle foton kütle kazandırılabilceği sonucuna ulaşmıştık. 1997 Eylül'ünde Ankara'ya döndüğümde bu noktada kalan çalışmalarımıza devam etmek için geçen yaz Ankara'nın sıcak günlerinde bir araya gelince ilk sorumuz "Acaba Cremmer-Scherk yöntemini standard elektrozayıf etkileşmeler kuramı kapsamında ele alabilir miyiz?" oldu. Böylece normalde Planck ölçekte



Prof. Dr. Tekin Dereli (solda) ve Prof. Dr. Robin Tucker

mes Cronin ve Val Fitch'in gerçekleştirdikleri ve kendilerine 1980 yılında Nobel Ödülü kazandıran bir deney, mezonların kaon adlı küçük kütleli bir türünün zaman zaman bir antikaona dönüştüğünü ortaya koydu. Önemli olan, bu olayın tersinin, yani antikaonun kaona dönüşmesinin 500 kez daha seyrek görülmesiydi. Açıkça, ayna modelinin öngörülerinin tersine madde lehine bir eğilim vardı...

Şimdiyse fizikçiler, görece basit yapıdaki kaonun, CP bozulmasını tam anlamıyla açıklayamayacağı konusunda birleşiyorlar. Bu nedenle tüm dikkatler, B mezonu denen ve kaondaki "garip" kuarklara göre çok daha büyük kütleli "alt" kuarklar içeren bir parçacığa yönelmiş durumda. B mezonunun bozunması çok daha zengin bir "enkaz" yaratacağından, bilim adamları madde-antimadde eşitsizliği konusunda daha fazla veri toplayabileceklerine güveniyorlar.

Ne yazık ki, B mezonları öyle kolay bulunan bir meta değil. Anlamlı deneyler için bunlardan milyonlarcası gerekiyor. İşte bu iş için kurulan iki "fabrika" önümüzdeki aylarda hizmete girmek üzere. Kısaca "B fabrikaları" diye adlandırılan, salt bu iş için tasarlan-



Hızlandırıcılar içinde demet halinde çarpıştırılan parçacık ve karşı parçacıklar önce saf enerjiye, daha sonra da yeni parçacıklara dönüşüyor.

mış makinelerden biri ABD'de Stanford Lineer Hızlandırıcı Merkezi'nde (SLAC), ve Japonya'nın Tsukuba kentindeki Yüksek Enerji Hızlandırıcı Araştırma Kurumunda (KEK) bulunuyor. B-mezonu oluşturacak bu tesisler, ürünü, elektron ve karşıtmaddesi olan pozitron demetlerini çarpıştırarak elde edecekler. Güçlü miknatıslarla yönlendirilen elektron ve pozitron demetleri, ayrı tünellerde (2-3 km uzunluğunda) ışık hızına yakın hızlar kazandıktan sonra kafa kafaya çarpıştırılacak. Bu sırada ufak bir de hile yapılacak: Elektronlar, tünel içindeki turları sırasında, pozitronlara göre birazcık daha yüksek bir enerji düzeyine yükseltilecek. Böylelikle çarpışmadan or-

taya çıkacak enkaz, pozitron demeti yönüne doğru kayacak. Saniyenin 1,5 milyarda biri uzunluğundaki ömürleri süresinde de, özel detektörlerin saptayabilecekleri kadar bir yol kat edecekler. Çarpışma enkazındaki parçacıkların üçte birinin B-mezonları ve karşı parçacıklarından oluşacağı hesaplanıyor. Bu iki parçacığın bozunma hızlarındaki farklılıklar, madde ve karşıtmadde arasındaki CP bozulmasını daha güvenli bir biçimde ortaya koyacak. SLAC, bu parçacık çiftlerinden yılda 30 milyon adet oluşturmayı hedeflerken, biraz daha gelişkin bir tasarımı olan KEK, 100 milyon çift hedefliyor. Bu yarışa, özel olarak tasarlanmış makineleri olmasa da, 2005 yılında "dün-

etkin olacakları varsayılan sicism olgularının daha elektrozayıf birleşme ölçeğinde etkinlik kazandırdığı bir model öne sürmüştük. Kısa fakat yoğun bir hesaplama döneminden sonra problemin çözümüne ulaştık ve vakit geçirmeden bulduğumuz sonuçları bir makale halinde yazarak yayına yolladık. [T. Dereli, R. W. Tucker, *String theory and the standard model*, hep-th/9808059] Bu tür etkilerin yüksek uzay-zaman boyutlarının etkileri kapsamında düşünü- lüp tartışıldığı makalelere İnternet kanalıyla ulaşılabilir ki bunlardan birisi Bilim ve Teknik yazısında bahsi geçen makaledir. [N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, G. Dvali, *The hierarchy problem and new dimensions at a millimeter*, hep-th/9803315]

Süpersicim kuramlarında madde ve kuvvet alanlarının kuantumları bir zaman ve dokuz uzay boyutunda ışık hızıyla hareket eden (kütleli) kapalı sicismlerin titreşim kipleri gibi yorumlanmaktadır. Temel sicismlerin boyutları Planck ölçeklerinden bile daha alt ölçeklerde düşünülmelidir. Böyle bir kuramın getireceği yeni olguların irdelenmesi için bazı yaklaşıklıklar kaçınılmazdır. Doğa gözlemleri yönüne giden ilk yaklaşıklık kapalı sicismin yarıçapının bir nokta gibi kabul edilmesi olmaktadır. Bu limit halinde evrensel kütleçekimini 10 boyutlu bir uzay-zamanda tanımlı graviton, dilaton ve aksiyon alanları ile bunların etkileşmeleri betimler ki bu özel kurama etkin sicism alan kuramı adı verilmektedir. doğa gözlemlerine ulaşmak için gerekli bir sonraki adım, bu etkin kuramın yaşadığımız dört

boyutlu uzay-zamana boyutsal indirgenimidir. Bu aşamada biz bir büyük yaklaşıklık daha düşünerek etkin sicism alan kuramını doğrudan 4 uzay-zaman boyutunda yazdık. Bu ikinci kabullenme her ne kadar bir zorlama olsa bile bazı temel sicism olgularının gerçek uzay-zamandaki yansımalarını verebilmektedir. İlyce kısıtlanmış bu etkin kurama kütleli sicism alanını bağlar ve fotonla aksiyon arasında, ilk kez 1974'de Fransız sicism kuramcıları E. Cremmer ve J. Scherk tarafından öngörülen, özel bir tür etkileşimin varlığını kabul edersek; bu durumda ya fotonun yok olup aksiyonun kütle kazandığı, ya da aksiyonun kaybolup fotonun kütle kazandığı birbirine dual iki tarife gidebiliriz. Biz makalemizde Cremmer-Scherk mekanizmasında yer alan foton alanını, Salam-Weinberg elektrozayıf etkileşmeler kuramındaki foton alanı gibi yorumladık. Standard model denen bu kuramda elektrik yüklü parçacıklar arasındaki uzun menzilli elektro-manyetik kuvvetlerin kaynağı kütleli fotonun alınıp verilmesinde; kısa menzilli, çekirdek bozunumundan sorumlu zayıf kuvvetlerin kaynağı ise kütleli doksan protonun toplam kütleleri mertebesinde bulunan ve W^+ , W^- , Z^0 adlarını verdiğimiz ara bozonlarının alınıp verilmesindedir. Normalde ara bozonlar kütlelerini Higgs mekanizması yoluyla kazanırlar. Ancak standard model ile etkin sicism alan kuramını bir araya getirdiğimizde ara bozonların kütle kazanımına Higgs mekanizmasının yanı sıra Cremmer-Scherk mekanizması da katkı getirmektedir. Böylece standard model kapsamında

$$\frac{M_{Z^0}}{M_{W^\pm}} = \sec \theta_W$$

ifadesiyle verilen kütle oranının şimdi

$$\frac{M_{Z^0}}{M_{W^\pm}} = \sec \theta_W \sqrt{1 + \lambda^2 |v|^2}$$

ifadesiyle verileceğini gösterebildik. θ_W Wienberg karışım açısı, v^2 Higgs bozonunun boşluk beklenen değeri, ise Cremmer-Scherk bağlanma parametresi olup sicism etkileri 0 halinde gözükcektir.

Burada kısaca vurgulamak istediğim; yaptığımız hesapları, bulduğumuz sonuçların ve bunları bilim camiasına duyurmak için yazdığımız makalelerin evrensel bir program içinde yer aldıkları oranda önem taşıdıklarıdır. Araştırma sonuçlarımızın hangi büyük tabloda küçük birer fırça darbisi olduğunun bilincinde olarak çalışsak daha verimli olabiliriz. Şu aralar sıkca duyduğunuz sandığım *uluslararası Science Citation Index'ce taranan hakemli dergilerde çıkan yayınlar ve bu yayınlara yapılan atıflara* verilen önemin temel nedeni bunun birer ölçütü olmalarındadır. Bilim adamının öncelikli hedefi salt bir kaç makale yazarak atıflar almak ve bir kadroya yerleşmek olmamalıdır. Akademik yaşamda yer edinmek için bunlar da önem taşıyor, ama kalıcı olan makale veya bir konferansa tebliğle olur, verdiği derslerle olur, hatta yetiştirip kendi kanatlarıyla uçmaya bıraktığı yetenekli öğrencilerinin çalışmalarını olur, bu büyük tabloda iyi bir iz bırakabilmektedir.

kıyor. Sicim kuramında, parçacıklarla bunların etkileşimlerinin karmaşık simetriteri, dört boyutun dışında en az 6 boyut daha gerektiriyor.

Sicim kuramının süpersimetri yaklaşımını da içeren biçimine süpersicim kuramı deniyor. Süpersimetri, her temel parçacık için bir süpersimetrik karşıtın varlığını temel alıyor ve bu yeni akraba parçalar sayesinde kuarklarla, leptonların, yani fermiyonların, kuvvet taşıyıcı bozonlara dönüşebilmesini, böylelikle temel kuvvetler arasındaki ayrımın kalkmasını öngörüyor. 10 boyutlu bir süpersicim kuramı, yalnızca elektrozayıf ve şiddetli etkileşimi birleştirmekle kalmıyor, daha da ileri giderek kütleçekim kuvvetinin denklemlerini de açıklıyor. Sicim kuramının bir türüyse, dört boyutun dışında 22 boyuta daha gerek duyuyor. O kadarını bilemiyoruz ama beşinci boyut galiba kapıda!

Anahtar, Beşinci Boyutun Büyütülmesi

Yeni boyut düşüncesi aslında 1920'li yıllara değin gidiyor. Einste-

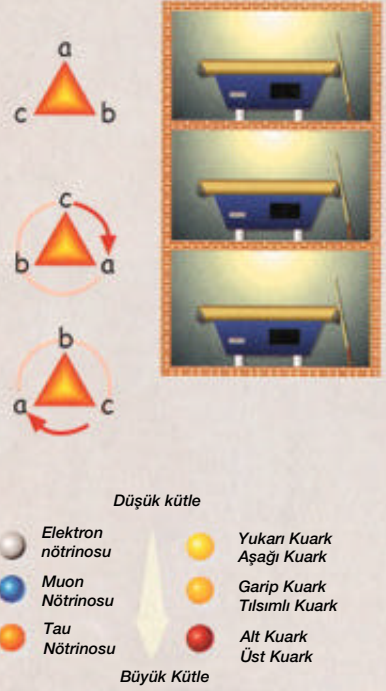
SİMETRİLER

Dönme simetrisi, herhangi bir yapıya, belirli açılarda döndürüldüğünde de aynı görüme özelliği verir. Örneğin bir eşkenar üçgen, 60 derece veya katları açılarda döndürüldüğünde hep aynı görüntüye sahip olur.

Fiziksel simetri için iyi bir örnek bilardo toplardır. Bir binanın hangi katında olursa olsun, bilardo topları, benzer masalar üzerinde aynı biçimde davranır. Yani kütleçekim alanı içindeki konumları önemsizdir. Üst katta ya da alt katta olmak, eşkenar üçgenin dönmesi gibidir. Topların kütleçekim enerjileri istenildiği katta ölçülebilir.

Farklı gibi görünen parçacıklar arasında beklenmedik örüntüler, yeni fizik yasaları gerektirebilecek bir simetri tabanını aklı getiriyor. Leptonlarla kuarklar böylesi bir örüntü için bir örnek. Bir tür ağır elektron olan muon ilk keşfedildiğinde büyük şaşkınlık yaratmıştı. Oysa şimdi biliyoruz ki, bu parçacık, her biri kendi nötrinosuna sahip üç kuşak parçacıktan biri. Ayrıca kuarklar da her biri bir çift parçacık içeren üç kuşak oluşturuyor.

Herşey İçin Bir Simetri



in'in, yerçekiminin dört boyutlu uzay-zamanın dokusunun bir sonucu olduğunu göstermesinden etkilenen Alman matematikçi Theodor Kaluza 1919 yılında elektromanyetik kuvvetin de bir beşinci boyutun ürünü olabi-

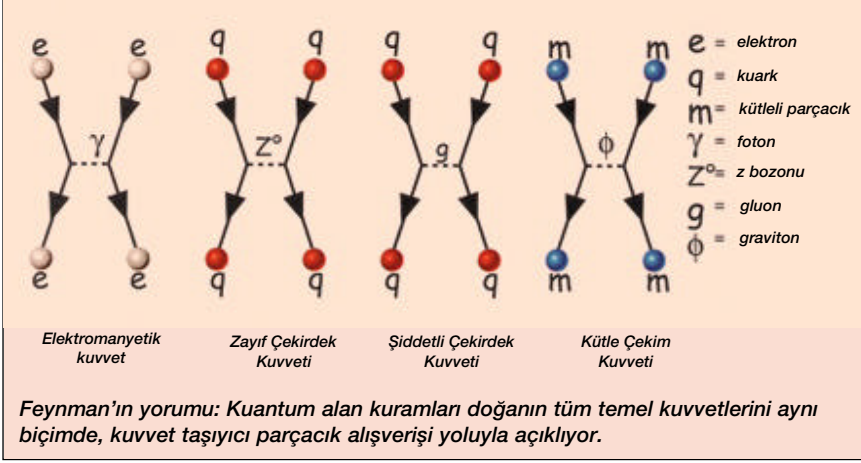
leceği düşüncesini ortaya attı. Daha sonra, 1926'da, aynı düşüncüyü İsveçli bilim adamı Oskar Klein da ileri sürdü. İki bilim adamı, bu boyutun etkilerinin neden normal enerjilerde ve mesafelerde görülemeyeceğini açıklamak için beşinci boyutun bir atomdan daha küçük bir alana sıkıştığını önerdiler. Kaluza-Klein (KK) kuramına göre uzay-zamanda her nokta, bu beşinci boyut içinde bir çember oluyor. Elektrik yüklü bir parçacık, normal uzayda hareketsiz gibi dursa da beşinci boyutta bu çember üzerinde durmaksızın dönüyor. Dolayısıyla elektrik yükü dediğimiz şey, aslında bu gizli boyutta bir hareketten başka bir şey değil. Kaluza ve Klein, kuramlarının başarısına rağmen elektromanyetik kuvveti, kütleçekimi kuvvetiyle birleştirmeyi başaramamışlardı. (O zamanlar şiddetli ve zayıf çekirdek kuvvetleri zaten bilinmiyordu). Günümüzdeyse, KK kuramının çağdaş biçimlerini dört temel kuvvete uygulamak için çok daha fazla boyut gerekiyor.

Süpersicim kuramının 10 boyutunu ele alalım. Bildiğimiz dördü dışındaki altı boyutun 10^{-35} metre, yani metrenin yüz milyar kere trilyon kere trilyonda biri yarıçapında bir daireye hapsediği düşünülüyor. Buna ünlü Alman fizikçisi ve kuantum mekaniğinin kurucularından Max Planck'in onuruna Planck uzunluğu deniyor. Bu

Süpergravitasyon ve Etkin Sicim Alan Kuramları

Kütleçekim kuvvetlerinin tutarlı bir kuantumlu alan kuramının henüz bulunamaması, doğada bilinen tüm etkileşme kuvvetlerinin tek bir kuramla tarif edilmesi önünde en büyük engeldir. 1974'de Wess ve Zumino'nun dört boyutlu uzay-zamanlarda süpersimetrik kuantumlu alan kuramlarının bulunduğunu kanıtlamaları, pek çok fizikçide tutarlı bir kuantumlu kütleçekiminin Einstein kuramının süpersimetrik genellemesi yoluyla bulunabileceği ümidini doğurdu. Aynı yaz Oxford'da toplanan bir sempozyumda bu dile getirildi. Nitekim 1976 Nisan ayında S. Deser ve B. Zumino ile onlarla eş zamanlı olarak S. Ferrara, D. Freedman ve P. van Nieuwenhuizen basit süpergravitasyon kuramını keşfettiler. Doğadaki diğer etkileşmeleri ve madde alanlarını bünyesinde toplayabilmesi için hemen iç simetritlerle genişletilmiş süpergravitasyon kuramlarının aranmasına geçildi. Buraya kadar kuramlar hep dört uzay-zaman boyutunda ele alınmaktaydılar. Önemli bir atılım E. Cremmer ve J. Scherk'in 1978'de en geniş iç simetritelere sahip süpergravitasyon kuramını, önce 11 boyutlu uzay-zamanda basit süpergravitasyon kuramını yazıp sonra bunu dört boyuta indirgeyerek bulmalarıyla gerçekleşmiştir. Böylece kökeni ta 1920'lerde bulunan boyutsal indirgeme yöntemi tekrar gün yüzüne çıkmış oldu. Yüksek boyutlarda kuantumlu alan kuramları fikrinin çok da yadırganmamasında, sicim kuramlarının ancak yüksek boyutlarda tutarlı olduğunu bilinmesinin mutlaka bir rolü olmuştur. Fakat 1980'lerde süpergravitasyon kuramlarının beklenildiği gibi

tutarlı kuantum kütleçekimi veremedikleri artık iyice anlaşmıştı. Gözden düşmüş bulunan sicim kuramlarına ise henüz J. Schwarz'dan başka ilgi duyan pek kimse yoktu. Beraber çalıştığı J. Scherk 1979'da genç yaşta ölmüş, o nedenle M. Green'le beraber sicim kuramına bakmaya başlamışlardı. 1984 Ekim ayında kuantum tutarsızlıkları bulunmayan süpersicim kuramları keşfederek yeni bir çığır başlattılar. Sicim kuramlarının bu ikinci evresinde önemli katkılar Princeton'dan, E. Witten ve çevresinden geldi. Kısa sürede beş farklı tür tutarlı süpersicim kuramının bulunduğu gösterildi. Bunlara sırasıyla I. tür, IIa türü, IIB türü, SO(32) simetrisine sahip melez (heterotik) ve E8 x E8 simetrisine sahip melez (heterotik) süpersicim kuramları adları verildi. Fiziksel olgulara ulaşabilmek açısından en çok üstünde durulan tür bu sonuncusu oldu. Süpersicim kuramlarının çıkışıyla birlikte süpergravitasyon kuramları geri plana düşülürse de önemlerini tamamen yitirmediler. Kapalı sicimlerin boyutları Planck ölçeklerinden bile alt ölçeklerde ele alınmaktadır. Bu kuramların fiziksel öngörülerinin saptanması için yaklaşıklıklar kaçınılmazdır. İlk yaklaşıklıkta kapalı sicimler birer nokta gibi ele alınmaktadırlar. Bu limit durumunda evrensel kütleçekimini 110 boyutlu uzay-zamanda graviton, aksiyon ve dilaton alanları ile bunların aralarındaki etkileşmeler tanımlar. Sicim kuramlarının fiziksel önemini irdelemek için bir ara aşamada elde edilen bu çok özel süpergravitasyon kuramlarına etkin sicim alan kuramları adı verilmektedir.



ölçekte, elektromanyetik kuvvetle, iki çekirdek kuvvetinin ve onlardan çok daha zayıf olan kütleçekimi kuvvetinin özdeşleştiği varsayılıyor. Kuantum mekaniğinin temel taşlarından belirsizlik ilkesine göre, incelemek istediğiniz ölçek ne kadar küçükse, o ölçüde ulaşmak için gereken enerji de o ölçüde büyük. Bu durumda Planck uzunluğu, 10^{19} GeV (10 milyar kere milyar kere milyar elektron volt) değerinde enerjiye eşit. Böylesine güçlü bir enerji ancak Büyük Patlama'dan sonra geçen saniyenin trilyon kere trilyon kere trilyonda biri süresince madde üzerinde etki yapabiliyordu. Böylesine enerjiler, bırakın teknolojimizin gelecek doruklarını, düşlerimizi bile çok çok aşti-

ğina göre, işte geldik tıkanıklık...

Yoksa öyle değil mi? CERN'de görevli bilim adamları, bir çıkar yol bulduklarını düşünüyorlar: Onlara göre, altı ek boyutun Planck uzunluğu kadar küçük bir yere hapsolmesine gerek yok. Böyle olunca da bu boyutların etkileri çok daha alt enerji düzeylerinde, hatta yalnızca 1 TeV (bir trilyon elektronvolt) kadar "düşük" enerjilerde bile ortaya çıkabilir. Bu düzeyde bir enerjiye CERN'de yakında kullanıma girecek olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısının (LHC) kapasitesi içinde.

İş ek boyutlara yeni ve daha geniş bir ev bulmakla da bitmiyor. Büyük Birleşik Kuram, doğanın temel kuvvetlerinden üçünün (elektromanyetik

kuvvet ile iki çekirdek kuvveti) Büyük Patlama'dan sonra Evren soğumaktayken nasıl olup da tek bir kuvvetten ayrıldıklarını ve hangi koşullarda yeniden birleşeceklerini de açıklamak zorunda. Kurama göre elektromanyetik ve zayıf kuvvetler enerji arttıkça güçlenirken, şiddetli çekirdek kuvvetiyse zayıflıyor. Her üçü de 10^{16} GeV (10 katrilyon milyar elektron volt) tutarında bir enerji düzeyinde yeniden birleşiyorlar. Burada önemli bir olgu, yüksek enerjili ve çok boyutlu bir ortamda, bir alay yeni parçacığın ortaya çıkması, ya da "çıkarmak gibi görünmesi". Nedeni, kuantum mekaniğindeki parçacıkların bir dalga gibi davranabilmeleri. Aslında parçacık diye algıladığımız şey, o kuvvetin çeşitli olası davranış biçimlerinin toplamı olan "kuantum durumu"nun bir bozulma biçimi. Bir temel parçacık, daha üst bir boyutta hareket ederken, parçacığa karşı gelen dalga, kıvrılmış boyut içinde sağa sola çarparak bir "yankı" meydana getiriyor. Kaluza-Klein Durumu denen bu yankılar, aynen bir parçacık gibi davranabiliyor. Örneğin yüksek enerjili çarpışmalarda, zayıf kuvvetin taşıyıcısı olan Z-bozonu, daha ağır bir çok "akraba"ya kavuşuyor. Öteki bilim adamları, aşılmaz gibi görünen bu engelin çevresinden dolaş-

Sicim Dualiteleri ve M-kuramı

Sicim kuramlarının gelişiminde bir diğer atılım 1995'te bulunan dualite simetrisi olmuştur. Dualite simetrisi fikri elektromanyetik alanların ancak özel bazı şartlarda sahip oldukları bir simetriye dayanır. Kaynaksız Maxwell denklemlerinde elektrik alanı manyetik alanla, manyetik alanı elektrik alanla değiştirsek denklemler değişmez. Ancak doğada kaynak olarak elektrik yüklerinin bulunması, fakat manyetik kutupların tek başlarına var olmamaları elektrik-manyetik dualiteyi bozar. Dualite fikrinin Yang-Mills ayar alanlarına genellenmesi 1977'de K. Montonen ve D. Olive'in ilginç bir gözlemine neden oldu. Böyle modellerde e elektrik yükü kaynak olarak dışarıdan konurken, g manyetik yükü ayar alanlarının topolojisine bağlı olarak soliton gibi bulunabiliyordu. Montonen ve Olive'e göre öyle bir dual ayar alan kuramı olmalıydı ki, g manyetik yükü kaynak olarak dışarıdan konunca e elektrik yükü topolojik olarak bulunsun. Elektrik yükleri ve eğer varsa manyetik yükler Dirac'ın daha 1931'de gösterdiği e.g = sabit kuralını sağlarlar. Dolayısıyla kuantum alanları olarak düşünüldüklerinde, bir kuramda genlikler pertürbasyon açılımlıyla küçük e değerleri için hesaplanabilirken, büyük e değerleri için, yani Dirac kuralı nedeniyle küçük g değerleri için, pertürbasyon hesapları dual kuramda yapılabilir. Dikkat edilirse dualitenin normal simetriden farklı bir yönü bulunmaktadır.

Bir kuramın simetrisi denince normal olarak, kuramın parametrelerini başka bir kuramın parametrelerine götürerek birbirine dual dediğimiz iki kuram arasında ilişki kurmak gelir. Montonen-Olive dualitesi, ancak 1994'de N. Seiberg ve E. Witten tarafından tekrar gündeme getirildi. Sicim kuramlarında da elektrik-manyetik dualiteye benzeyen ve S-dualitesi adı verilen, bir zayıf bağlanma-kuvvetli bağlanma dualitesinin bulunduğu gözlemlendi. Sicim kuramlarının boyutsal indirgenimi sırasında eğer iç simetrisi uzayının yarıçapı R ile gösterilirse, $R \rightarrow R^{-1}$ dualitesi de vardır. Buna T-dualitesi adı verilmiştir. U-dualitesi denen üçüncü bir tür dualite daha bulunmaktadır. S, T ve U dualiteleri altında I, IIA, IIB, SO(32) melez ve $E_8 \times E_8$ melez sicim kuramları birbirlerine dual çıkmaktadırlar. Bunun üzerine E. Witten bu beş tür süpersicim kuramını ve bunlarla beraber 11 boyutlu süpergravitasyon kuramının hepsini bünyesinde bulunduran bir büyük kuramın bulunacağını düşündü. En az 11 boyutta yaşaması gerekli bu kurama M-kuramı denmesini önerdi. Witten'a göre bu kuramın keşfi 21. yüzyıla kalan en büyük problemdir. Şu anda ise daha M-kuramının ne olduğu konusunda bir fikir birliği bile oluşmuş değil. M. Duff bunun membran (zar) kuramı olduğunu savunuyor. Zar kuramlarının temel fikri Dirac'ın 1962'de öne sürmüş olduğu bir elektron modelinde bulunmaktadır. Uzay-zamana gömül-

müş 3 boyutlu zamansal bir bölge, uzayda hareket halindeki iki boyutlu bir yüzeye karşı gelir. Bu yüzeyin kapalı olduğunu, yani topolojik olarak bir küre yüzeyine eşdeğer olduğunu varsayarsak, bir kapalı zar modeline ulaşırız. Dirac böyle bir modelin kuantumlamasını yaparak en düşük kipi elektron, birinci uyarılmış kipi muon gibi yorumlamıştı. Sicim kuramlarının güncellik kazanması üzerine 1987'de sicim kuramından daha temel bir kurama ulaşabilmek için süperzar modelleri geliştirildi. Ancak bu kuramın tutarlı bir kuantumlamasının yapılamayacağı iddialarına karşı kanıt getirilemeyince süperzarlar bir kenara bırakıldılar. M. Duff'a göre M-kuramı bu süperzardan başka bir şey değil. Aslında bir kez yüksek boyutlu uzay-zamanlarda relativistik sicim ve zarların dinamik kuramlarını incelemeye başlayınca daha da zengin yapılarla karşılaşmaktayız. Kütleli, relativistik sicim hareket denklemleri sicimin uzay-zamanda süpürdüğü yüzeyin alanının minimum olması koşuluyla nasıl belirleniyorsa; kütleli, relativistik zarların hareket denklemleri de aynen öyle zarın süpürdüğü 3 boyutlu uzay-zaman hacminin minimum olması koşuluyla verilirler. Eğer onbir boyutlu uzay-zamanda çalışıyorsa 1-boyutlu uzantılı nesnelere olarak sicimler, 2-boyutlu uzantılı nesnelere olarak zarlarla beraber genel olarak p-boyutlu uzantılı nesnelere de bahsedebiliriz. p-bran adı takılan bu nesnelere M-kuramının niteliklerinin anlaşılmasında önemli rolleri olacaktır.

manın yollarını araya dursun, CERN'den bir ekip geçen yıl, KK yankılarının elektrozyayıf ve elektromanyetik kuvvetlere etkilerini de hesaba katınca ne olacağını araştırmışlar. Söz konusu kuvvetlerin bazılarının bu etki nedeniyle hızla güçlendiklerini saptamışlar. Ama hayretle görmüşler ki, bu etkiye rağmen gene de üç temel kuvvet birleşebiliyor. Tabii ki, şimdilik kuramsal olarak. Üstelik bu birleşme için de halen kullanılmakta olan matematik tekniklerinden farklı araçlar gerekmiyormuş. Şimdi CERN araştırmacılarının ilk hedefi beşinci boyutu yakalayabilmek. "Bu boyutun genişliğinin de 10^{-19} metreden (metrenin on milyon trilyonda biri) büyük olmaması, yani, şimdiye değin erişebilen sınırın hemen ötesinde bulunması halinde, birleştirme enerjisi 1TeV'a (bir trilyon elektronvolta) kadar düşebilir" diyorlar.

Beşinci boyutun çapının belirtilen ölçeğe düşmesi, dolayısıyla birleşme enerjisinin de 1 TeV düzeyine çekilebilmesi, fizikte birçok bilinmeyenin açıklanmasına da yol açabilecek. Bu düşük enerji düzeylerinde Birleşme (GUT) kuvvetini taşıyacak parçacıkların, eskiden varsayıldığı gibi çok büyük kütleli olması gerekmeyecek. Çok daha hafif parçacıklar da bu kuvveti taşıyabilecek. Bunlar arasında elektromanyetik kuvvetin fotonu, zayıf kuvvetin üç bozonu ve şiddetli çekirdek kuvvetinin sekiz gluonu bulunuyor. Ama parçacık fizikçileri, birleşme anında düzinelerle yeni parçacığın kuvvet taşıyıcısı olarak ortaya çıkacağına ve böylelikle bilginimizin ufuklarının olağanüstü genişleyeceğine inanıyorlar. Bunlar arasında X ve Y bozonlarının bulunması bekleniyor. Bu parçacıklar, maddeyi karşıt maddeye üstün kılan süreçleri ve dolayısıyla neden madde ağırlıklı bir Evren'de yaşadığımızı açıklayacak. Bilim adamları, özdeşleşme anında olanları gözlemekle, temel parçacıklara kütlelerini sağlayan mekanizmayı, örneğin "üst" kuarkın neden bir elektrondan bir milyon kez daha ağır olduğunu da anlayabilecekler.

Beşinci boyuta bağlanan umutlar bununla bitmiyor. ABD'deki Stanford Üniversitesi ve İtalya'nın Trieste kentindeki Abdus Salam Uluslararası Kuramsal Fizik Merkezi araştırmacıları,

Fizikte Temel Enerji Ölçekleri			
	Enerji (Gev)	Karşı Gelen Uzunluk (m)	Önemi
	milyar elektronvolt		
Elektrozyayıf	100	10^{-18}	Elektromanyetik kuvvet zayıf çekirdek kuvvetiyle karşıarak iki yeni elektrozyayıf kuvvet oluşturur.
Büyük Birleştirme (GUT)	10^{16}	10^{-32}	İki zayıf çekirdek kuvveti ve şiddetli çekirdek kuvveti Büyük Birleştirme (GUT) kuvveti halinde birleşir. GUT, bir foton, üç vektör bozonu, sekiz gluon ve birçok X ve Y parçacıklarla taşınır.
Sicim	10^{18}	10^{-34}	Sicimlerin karakteristik enerjisi. Sicim kuramına göre GUT kuvveti kütleçekimle birleşerek tek bir "süperkuvvet" oluşturur.
Planck	10^{19}	10^{-35}	Sicim ölçeğinde birleşmemeleri halinde kütle çekiminin öteki kuvvetlerle eş düzeye geleceği ölçek

beşinci boyutun bir milimetre gibi olağanüstü büyüklükteki boyutlarda bile ortaya çıkabileceği savını öne sürüyorlar.

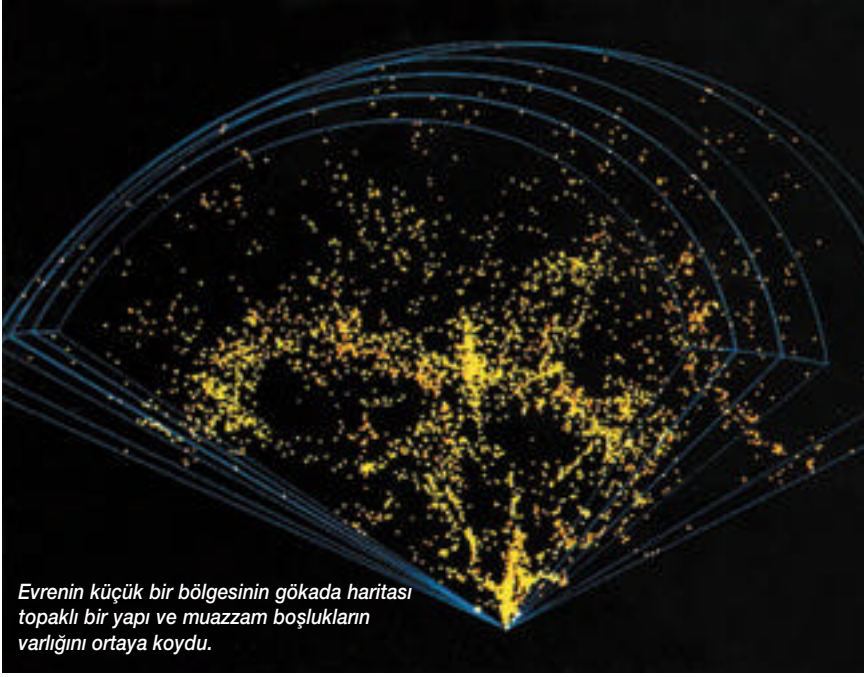
ODTÜ'den Prof. Dr. Tekin Dereli de aynı amaca yönelik alternatif bir yaklaşım öne sürmüştür.

Stanford'dan Nima Arkani-Hamed ve Savas Dimopoulos ile, Abdus Salam Uluslararası Merkezinden Gia Dvali, kendi önerilerine temel olarak zayıf kuvvet ve elektromanyetik kuvvetin birleşme enerjisi ile öteki fizik ölçekleri arasındaki muazzam farklılığa işaret ediyorlar. Gerçekten de fark büyük. Adı geçen iki kuvvet, elektrozyayıf kuvvet altında birleşmek için yalnızca 100 GeV düzeyinde bir enerjiye gereksinim duyuyor. Oysa büyük birleşme kuramı için gerekli minimum enerji 10^{16} GeV... Araştırmacılara göre, bu 10^{19} GeV düzeyindeki Planck ölçeği, elektrozyayıf birleşme ölçeği olan 100 GeV ölçeğine kadar indirilebilirse sorun kalmayacak. Buysa, yalnızca kütleçekim kuvvetinin duyabileceği, bir milimetreden biraz daha az ölçekte iki ya da daha fazla boyutun eklenmesiyle gerçekleşebiliyor. Arkani-Hamed, "Işın şaşılacak yanı, bu öneri, hiçbir laboratuvar, kozmoloji, ya da astrofizik sınırlamasıyla çelişmiyor" diyor. Eğer araştırmacı ve ekip arkadaşları haklıysa, kütleçekim kuvvetinin taşıyıcı parçacığı olan gravitonlar, az önce gördüğümüz KK yankıları sayesinde, 100 mikrometrenin altındaki bir ölçekte, ters kare kuramının öngördüğünden milyonlarca kez güçlü olacak, hatta belki de "itici" bir özellik kazanacak. Stanford'da ve Colorado Üniversitesinde bilgisayar deneyleri başlamış bile. Sonucun bu yıl sonlarına doğru alınması bekleniyor.

Büyük Ölçekte, Büyük Sorular

Parçacık fiziğinde durum böyle de, astrofizik alanında buluşlar daha mı geriden gelecek? Hiç de öyle görünmüyor. Çünkü bu alanda da araştırmacılar hem genel görelilik, hem de kuantum mekaniğinin sınırlarını zorluyorlar. Mühendislik alanındaki gelişmeler, daha güçlü teleskoplar, daha güçlü kameralar, daha gelişkin sondalar, bizim için Evren'i olağanüstü büyüttü. Artık Büyük Patlama'dan hemen sonra oluşan gökadalara gözleyebiliyoruz. Büyük Patlamanın fosil ışınımını çoktan saptadık. Onun içindeki küçük dalgalanmaların, Evren'in bugünkü yapısını oluşturduğunu anladık. Gökadaların birbirlerini yuttuklarına tanık olduk, milyarlarca Güneş kütlelerinde kara delikler keşfettik. Gelgelelim, kaç soruyu yanıtlarsak, bir o kadar yenisi karşımıza dikiliyor. Artık anlamaya başladık ki, 20. yüzyıl fiziğinin ana yelkenleri, genel görelilik ve kuantum mekaniği, tek başlarına yeterli rüzgar alamıyor. Bu kuramların birleşme gereksinmesi, milyarlarca ışık yıllık bu evrensel boyutlarda da karşımıza çıkıyor. Ve bilim, bu alanda da yepyeni ve şaşırtıcı yanıtlarla ortaya çıkmaya hazır gibi.

Aslında gerektiği kadar dikkat çekmese de "yeni fizik" ırmağı gökyüzünde akmaya başladı bile. Artık bilim adamları daha yürekli. Atomaltı dünyası konusunda genişleyen bilgilerimiz, uzayın karanlık boşluklarını kısmen de olsa dolduruyor. Şimdiye kadar kuramlardan biri ya da ötekince yasaklandığı için dile getirilemeyen öneriler rahatlıkla ortaya atılabilir oldu.



Evrenin küçük bir bölgesinin gökada haritası topaklı bir yapı ve muazzam boşlukların varlığını ortaya koydu.

Boş Olmayan Boşluk

Evren bilğimiz konusundaki boşluklar, Evren'in bizzat kendisindeki fiziksel boşluktan kaynaklanıyor. Bu boşluk, Evren'in yapısı, ortaya çıkışı ve nasıl sona ereceği konusundaki kuramları zorluyor. Bu konuda rafa kaldırılmış bazı açıklama araçları, yeniden denklemlere sokulmaya başlandı bile. Bunların başında, bizzat genel göreliliğin kuramcısı Einstein'ın "en büyük hatam" diyerek denklemlerinden çıkardığı "kozmozolojik sabit" geliyor. Einstein, "hata"sını kuramını o zamanlar statik olduğu sanılan Evren'e uyarlayabilmek için geliştirmişti. Kozmozolojik sabit, adeta Evren'in genişlememesi için konulmuş bir muhafız, kütle çekime ters bir "itiş" gücüydü. Evren'in genişlediğinin kanıtlanması, böyle bir güce gereksinmeyi ortadan kaldırdı ve Einstein, zorlama açıklamasını geri çekti.

Peki bugün bu kavram neden yeniden gerekli? Çünkü yetersiz de olsa maddenin, dolayısıyla kütleçekiminin etkisiyle Evren'deki genişlemenin, gözlenen değerden daha fazla yavaşlaması gerekirdi. Bu durumda, giderek savunmasız kalan madde-yoğun Evren düşüncesinin imdadına yetişmek için, kozmozolojik sabit birkaç yıldır denklemlerin temel unsurlarından birisi haline geldi. Kozmozolojik sabit ar-

tık bir boşluk enerjisi olarak nitelendiriliyor. Daha doğrusu, boşluk enerjisinin yoğunluğu anlamına geliyor. Peki bu boşluk enerjisi ne anlama geliyor? Boşluk dediğimiz şey aslında sanal bir boşluk; o da Büyük Patlama'nın bir ürünü. İçi sanal parçacıklarla kaynıyor. Kuantum dünyasında daha yakından tanıdığımız bu sanal parçacıkların basıncıydır ki, dilaton (ya da skalar alan - yönü olmayan kuvvet alanı) denilen bir parametre ortaya çıkıyor. Bu etkinin varlığı kuşku götürmüyor ama, sorunumuzu da tam çözmiyor. Çünkü fizikçiler, bu etkiyi hesapladıklarında, gökbilimciler tarafından gözlemlenen değer 10^{120} kat olması gerektiği sonucunu çıkartıyorlar. Fizikçiler bu bilmece üzerinde çalışadursunlar, gökbilimciler sıfır olmayan bir kozmozolojik sabiti kabul ettiler bile. Ancak bunun değeri konusunda birlik yok. Gene de, yavaş genişleyen, kritik yoğunlukta "düz evren" modelini benimseyenler, boşluk enerjisi yoğunluğunun, madde enerjisi yoğunluğunun (0,3), eksikliğini kapaması gerektiği, yani 0,65 değeri taşıması gerektiğini savunuyorlar. Oysa açık evren taraftarlarına göre, boşluk enerjisi yoğunluğu, yani kozmozolojik sabit, "eksik madde"nin % 20'si kadar. Bildiğimiz (baryon kökenli) maddenin toplam yoğunluğuyse, kritik yoğunluğun ancak % 1'i. Bilmediğimiz baryon türleri bile bu oranı % 10'dan öteye götürüyor.

Yanıt Karanlıklarda

Bu durum, fizikçileri yeni madde biçimleri aramaya itiyor. Gökadaları çevreleyen ve kütlelerinin büyük kesimini oluşturduğuna inanılan "karanlık madde" başlıca aday. Ama bunun niteliği de tartışma konusu. Kimi fizikçiler, karanlık maddenin, bildiğimiz "baryonik" maddeden oluştuğunu, ama ışımaya yapmadığı için görülmediğini söylüyorlar. Bu maddenin, gökadaları çevreleyen karanlık haleyi oluşturduğuna inanılıyor. Sönmüş yıldızların enkazı olan beyaz cüceler, çekirdek tepkimeleri başlatıp yıldız olabilecek kadar büyümemiş gaz küreleri, ya da kahverengi cüceler, gaz ya da kayalardan oluşmuş gezegenler, irili ufaklı kara deliklerin oluşturduğuna inanılan bu tür karanlık maddeye "Ağır ve Sıkışık Hale Cisimleri" (Massive Compact Halo Objects - MACHO) adı veriliyor. Rakip adaysa, büyük patlama sırasında oluştuğu varsayılan büyük kütleli bazı egzotik temel parçacıklar. Bunlara da "Zayıf Etkileşimli Ağır Parçacıklar" (Weakly Interacting Massive Particles - WIMP) deniyor. Bunların her ikisini de saptamak çok zor. Gerçi, bazı gökbilimciler, gezegen büyüklüğünde bazı MACHO'ları artlarındaki yıldızların ışığını mercekleedikleri için saptadıklarını öne sürdüler; ancak bunların niteliği kesin olarak belirlenemedi.

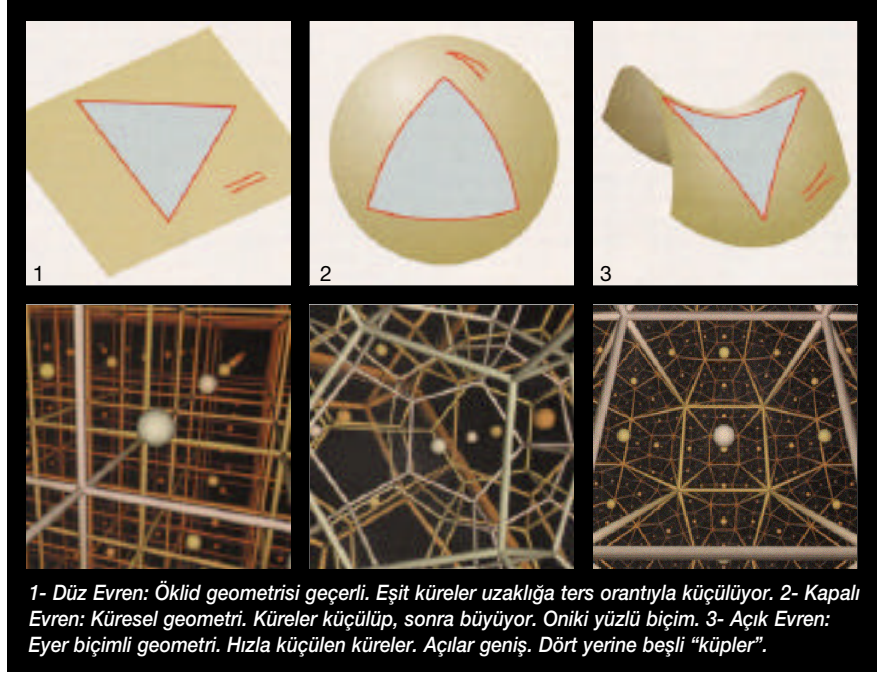
Baryon tipi karanlık madde için getirilen çözümlerden birisi, şimdiye değin kütlelesiz olduğuna inanılan nötrinoların 5-10 elektronvolt kadar küçük bir kütleyle sahip olmaları. Ama büyük patlamadan kalan, daha sonra yıldızların ve süpernovaların oluşturduğu o kadar çok nötrino var ki, bunlar da kritik yoğunluğun % 20'sini karşılayabilir. Gelgelelim, nötrinolar da sorunlu. Bir kere çok hızlılar, kütleleri küçük ve elektrik yükleri bulunmadığından çok zayıf etkileşiyorlar. Dolayısıyla bir araya gelip gökadaların kayıp kütlelerini oluşturmaları zor.

Sorunu çözmek için fizikçiler, gene zayıf etkileşimli ama daha yavaş hareket eden, tercihan da fermiyon olmayan başka egzotik parçacık arayışına giriştiler ve sonunda iki tane de buldular: Bunlardan birincisi aksiyon diye adlandırılan bir parçacık. Zayıf çekirdek kuvvetini kullanarak etkileştigiğine ina-

nılan ve varlığı ancak kuramsal olarak çıkartılan bu parçacığın kütlesi çok küçük. Bir elektronvoltun binde ya da milyonda biri kadar olduğu düşünülüyor (karşılaştırmak için: Elektronun kütlesi yarım milyon elektronvolt). Şimdi fizikçiler bu kuramsal maddenin bir özelliğinden yararlanarak varlığını kanıtlamaya çalışıyorlar. Özelliği, güçlü manyetik alanlarda bir mikrodalga fotonuna dönüşebilmesi. Aralarında Fermilab, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı gibi önde gelen araştırma kurumları ve üniversitelerin de bulunduğu bir konsorsiyum bir detektörle deneylere başladı ve aksiyonu beş yıl içinde yakalamayı umuyor.

WIMP için daha güçlü bir adaysa, gene bir kuramsal parçacık olan nötrino. Bu parçacık, süpersimetri kuramınca öngörülüyor. Bu kurama göre şiddetli çekirdek kuvvetinin, elektromanyetik ve zayıf kuvvetle (elektrozayıf) birleşmesi için, bildiğimiz atomaltı parçacıklarından bir o kadarı daha gerekli. Bu kuramın öngörülerine göre, tanıdığımız her temel parçacığın, çok daha ağır bir "süper ortağı" var, kuark için skuark, elektron için selektron, foton için fotino. Bu ağır parçacıkların son derece kararsız oldukları ve ortaya çıkmalarıyla bozunmalarının bir olduğu düşünülüyor. Ancak bunların en küçük kütleli olanı, nötrino'nun arkadaşı nötralinonun kararlı olduğu sanılıyor. Protonlardan 100 kat daha ağır olan bu parçacığın, karanlık madde kütlesinin önemli bir bölümünü oluşturabileceğine inanılıyor.

İş bunları bulmakta. Bunun için İngiliz ve Amerikalı araştırmacılar, yeraltında kurdukları detektörlerde bu parçacıkların gelip bir hedef atoma çarpmasını ve bir ışımaya yapmasını bekliyorlar. Bir Fransız-Çin ekibiyle iki yıllık araştırmalar sonunda WIMP saptadığını açıkladı. Araştırmacılar sodyum iyodür kristallerini bombardıman eden parçacıklar arasında belirli bir enerjiye sahip olanların yaz aylarında göze çarpacak biçimde çoğaldıklarını açıkladı. Bu, WIMP yağmuru konusundaki modellere tıpatıp uyuyor. Çünkü yaz aylarında Dünya, gökadamdaki WIMP bölgesinin içinden daha çabuk geçiyor. Böyle olunca da detektör içinden geçen WIMP'lerin sayısında % 10'luk bir artış olması bekleniyor.



1- Düz Evren: Öklid geometrisi geçerli. Eşit küreler uzaklığa ters orantıyla küçülüyor. 2- Kapalı Evren: Küresel geometri. Küreler küçülüp, sonra büyüyor. Oniki yüzlü biçim. 3- Açık Evren: Eyer biçimli geometri. Hızla küçülen küreler. Açıklar geniş. Dört yerine beşli "küpler".

İsmarlama Evren

Açık ya da kapalı, aydınlık ya da karanlık... Evren'in biçimi, ya da içeriği bazı fizikçileri fazla ilgilendirmiyor. Onlara göre, öyle de olabilir, böyle de... Daha doğrusu öylesi de var, böylesi de... Princeton Üniversitesi fizikçilerinden Max Tegmark'a göre "olası her evren şu an vardır." Bu "evrenler topluluğu" düşüncesinin böylesine ilgiyle karşılanıp, benimsemesinin bir nedeni, bizim kendi evrenimizi yöneten kuralların neden tam da bizim varlığımız için uygun bir "ince ayara" sahip olduğunu açıklayabileceği düşüncesi. Daha 1950'lerde, örneğin İngiliz Fizikçi Fred Hoyle ve elementlerin yıldızların merkezlerinde oluşma mekanizmasını olağanüstü bir başarıyla açıklayan ekip arkadaşları, bu ağır elementlerin adım adım oluşmasının büyük rastlantılara bağlı olduğunu ortaya koymuşlardı. Bulgulara göre berilyum-8, karbon-12 ve oksijen-16 gibi elementlerin çekirdekleri ancak çok özel bazı enerji durumlarında varolabildikleri içindir ki hidrojen, yaşam için son derece gerekli kalsiyum, magnezyum ve demir gibi elementleri oluşturabiliyor. Bu "ince ayar"ın başka göstergeleri de var. Örneğin temel doğa kuvvetlerinden şiddetli çekirdek kuvveti, taşıdığı değerden yalnızca % 1 daha güçlü olsaydı, iki proton kenetlenerek bir di-proton (çifte proton) oluşturabilecekti. Oysa

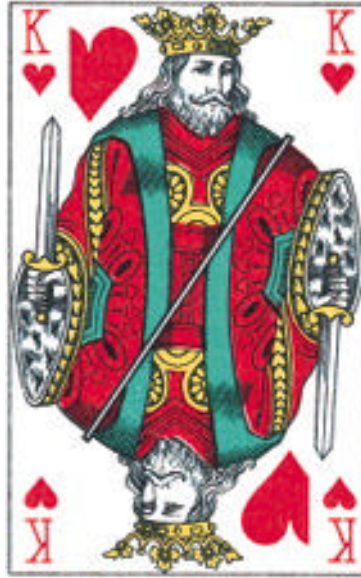
bildiğimiz kuvvet değerlerini taşıyan evrenimizde di-protonlar, yıldızların merkezlerinde, zayıf çekirdek kuvveti aracılığıyla oluşuyorlar. Zayıf kuvvet, bu işlemi yapabilmek için önce bir protonu bozundurup nötron haline getiriyor. Bu işlem, evrenimizde son derece yavaş gerçekleşiyor. Bir di-protonun oluşması 10 milyar yıl alıyor. Bu da, Güneş'in yakıtını ağır ağır yakmasına ve yaşamın ortaya çıkması için uzun bir zaman sağlamasına olanak tanıyor. Eğer di-proton kararlı olsaydı, şiddetli, çekirdek kuvveti protonları öylesine hızla birbirine yapıştırırdı ki, Güneş bir saniyeden az bir sürede tüm yakıtını tüketip patlayacaktı. Zayıf kuvvet de adeta bizim varlığımız için ayarlanmış gibi: Büyük kütleli bir yıldız yakıtını tükettiğinde merkezi çöküp sıkışıyor ve buradaki atomlar nötrona dönüşüyor. Bu süreç içinde merkezden dışarıya muazzam bir nötrino kaçıışı oluyor. Bu nötrinoların yarattığı şok dalgası yıldızın dış katmanlarını, bir süpernova patlaması halinde uzaya saçıyor. Nötrinolar ancak zayıf kuvvet aracılığıyla etkileşebiliyorlar. Zayıf etkileşim, biraz daha kuvvetli olsaydı, nötrinolar çökmüş merkezden çıkamayacaklardı. Buna karşılık biraz daha zayıf olsaydı, bu kez de nötrinolar dış katmanlarla hiç etkileşmeden uzaya saçılacaklardı. Her iki durumda da, ölen yıldızda oluşmuş ve yaşam için gerekli ağır elementler, başka yıldızların ve gezegenlerin hammaddesi-

ni zenginleştirmek üzere uzaya yayılamayacaktı. Bu tür örnekleri çoğaltmak mümkün. Tegmark ve Cambridge Üniversitesi'nden Martin Rees, Büyük patlama sonunda maddede oluşan topaklanma çok az farklı olsaydı bile, yıldızların ve gökadalardan oluşamayacağını söylüyorlar. Tegmark olsun, kendisinden önce bu "İnsancı İlke"yi (anthropic principle) savunmuş fizikçiler olsun, "Evren'de fizik yasaları neden böyle?" sorusuna "Biz olduğumuz için öyle" yanıtını veriyorlar. Bu görüşün savunucularına göre bu ince ayar, farklı ayarlarda birçok evrenin varlığına işaret ediyor.

Kuantumda Gerçek Çok

Sabun köpüklerini andıran çok sayıda evren düşüncesi, "somut" ve "tek" gerçeğe şartlanmış mantığımızı ters geliyor. Oysa bu evrenler topluluğu, 20. yüzyılın temel iki kuramınca, yani kuantum mekaniğiyle genel görelilik tarafından da destekleniyor. Kuantum mekaniğinin fizikçiler arasında giderek yandaş toplayan "Çoğul Dünyalar" (Many Worlds) adlı bir yorumuna göre bizim algıladığımız herhangi bir durum, olası birçok durumun rastlantısal bir gözleminde ibaret. "Çoğul Dünyalar", kuantum fiziğinin kuramcılarında Erwin Schrödinger'in ünlü Dalga Denklemi'nin bir yorumu. Bu denklemin en önemli öngörüsü, kuantum ölçümlerinin kesin bir sonucu olamayacağı. Ucu üzerinde dikili bir kurşunkalemin, masa üzerinde devrileceği yön, "aynı anda üst üste konulmuş tüm olası konumlar." Peki ama devrildiğinde biz kalemi yalnızca bir konumda görüyoruz. Kuantum kuramının 1920'lerde Niels Bohr'un geliştirdiği "Kopenhag" yorumuna göre, "Schrödinger denklemi, geçerli olmadığı durumlar dışında geçerlidir!" Biraz garip gelmiyor mu? Ama öte yandan kuantum dünyasında size, bana normal görünebilecek ne var ki?.. Bu yoruma göre Schrödinger dalga fonksiyonu bir ölçme yapıldığında çöker ve kalemimiz de olası birçok durumdan yalnızca birisini seçmek "zorunda kalır". Ama 1957 yılında geliştirilen "Çoğul Dünyalar" yorumu, Schrödinger dalga fonksiyonu-

nu "çökertmeden" de sorunu çözüyor. Ama hemen sevinmeyin. Sorun, sizin, benim gibi sıradan varlıklar için çözülüyor. İş ancak kuantum dünyasında olabileceği kadar "normal" bir açıklamaya kavuşuyor. Bu açıklamaya göre kalem, aynı anda, birçok yere birden devriliyor, bu durumlara "paralel gerçekler" deniyor. İşin püf noktası kalemi izleyen kişinin de bu paralel gerçeklerin içine girmesi. Bu gerçeklerin herbirinde, kalem ayrı bir yönde devrilmiş oluyor. Hangi gerçeğin içindeyseniz, kalemi de o yönde devrilmiş olarak algılıyoruz. Fakat sorumuz gene ortada duruyor. Kalem aynı anda iki ayrı yerde bulunabiliyorsa, biz neden bu paralel durumları göremiyoruz? Tabii, Tegmark'a göre durum son de-



rece basit!.. Yalnızca tek bir konum görebilmemiz, "uyum bozulması" (decoherence) denen bir olgu yüzünden. Kuantum dünyasının garipliklerinin temelinde bir sistemin değişik durumları arasındaki etkileşim yatıyor. Ama bu etkileşim, ancak söz konusu durumlar arasında bir "anlamlılık" varsa, başka bir deyişle sistem tümüyle yalıtılmışsa olası. Kaleme değen (ve onu gözlemlenmemize yarayan) tek bir foton bile bu etkileşimi bozuyor. Bu durumda da, "Schrödinger Denklemi, çökmüş gibi görünse de aslında çökmüyor." Bu Kuantum tekniğini kozmolojiye uygulayacak olursak da olası pek çok "paralel" Evren gerçeklik kazanıyor ve biz yalnızca içinde bulunduğumuz "gerçeği", ancak kendi evrenimizi görebiliyoruz.

Tek ve Düz Evren Sorunu

Kozmolojide, giderek benimsenen ve son gözlemlerle de desteklenen "şişme" kuramının yeni modelleri de paralel evrenler düşüncesini destekliyor, hatta bu düşünce üzerine oturuyor. Şişme, Büyük Patlama'nın açıklamadığı bazı sorunları yanıtlayan bir açıklama. Büyük Patlama, aslında Evren'in nasıl ortaya çıktığını değil, nasıl geliştiğini ve genişlediğini açıklayan bir kuram. En basit açıklamayla Evren, başlangıçta son derece yoğun ve son derece sıcak, yalnızca ışınla dolu bir kaynayan kazan. Genişleyip soğudukça ve yoğunluğu azaldıkça, ışınının küçük bir bölümü, tanıdığımız temel parçacıklara ve atom çekirdeklerine dönüşüyor. Sonunda, 300 000 yıl sonra Evren, trilyonlarca derece sıcaklıktan, 3000 K dereceye kadar soğuyunca (K, bildiğimiz Celsius ölçeğinin aynısı; tek farkı, başlangıç noktası olarak suyun donma derecesi olan 0 derece yerine, "mutlak sıfır" denen ve madde parçacıklarının tümüyle hareketsiz kaldığı -273 dereceyi alması) atom çekirdekleri, elektronları yakalıyor ve Evren "saydam" hale geliyor. Yani madde ile, bugün "kozmos ışınımı" dediğimiz 2,7 K eşdeğer sıcaklığa kadar soğumuş olan ışınım ayrılıyor. Evrenin her yanını dolduran bu fon ışınımı, son derece tekdüze. İçindeki sıcaklık farklılıkları ancak yüz binde bir ölçeğinde.

İşte Büyük Patlama, bu tekdüzelik tek başına açıklayamıyor. Çünkü Büyük Patlama'nın 12 milyar yıl önce meydana geldiğini kabul edersek, bugün Evren'in bir ucundan ötekine 24 milyar ışık yılı uzak olması gerek. O halde maddenin, ısının, ya da ışığın Evren'i tümüyle kat edip içindekileri eşitlemesi için yeterli zaman olamamış. Bir başka soru, düzgün görünümüne karşın yoğunluğundaki çok küçük dalgalanmaların nedeni. Bu dalgalanmalar, Evren genişledikçe büyüyerek gökadalardan ve gökada kümelerine ve yıldızları oluşturdu. Nihayet yanıt gerektiren bir soru da, nasıl olup da Evren'in, içindeki toplam maddenin oluşturduğu kütleçekimine ancak üstün gelebilecek bir oranda genişlediği. Bu mükemmel dengeden ciddi bir sapış, zaman geçtikçe büyüye-

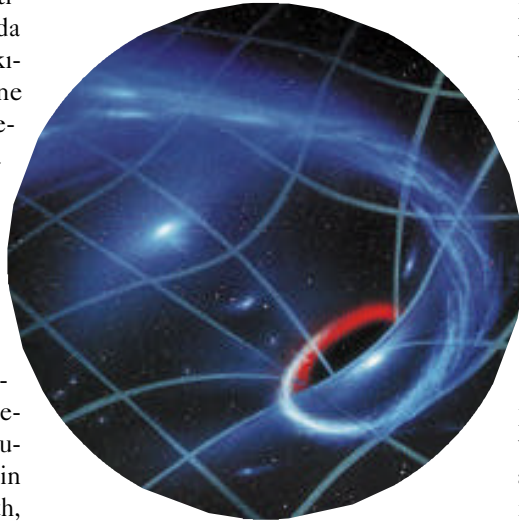
ceği için, genişleme hızı çok büyük olursa bugün Evren tümüyle madde- den yoksun gibi görünecekti. Aksine, yavaş olsaydı, bugün Evren, kütleçekiminin etkisiyle çoktan kendi üstüne çökmüş olacaktı.

Kozmologlar, bu durumu () değişkeni ile ifade ediyorlar. (), kütleçekim enerjisinin, kinetik enerjiye, yani Evren genişledikçe maddenin hareketinde saklanan enerjiye olan oranı. Buysa, Evren’de maddenin yoğunluğuyla yakından ilintili. Yüksek bir madde yoğunluğu, yüksek bir kütleçekim ve dolayısıyla daha yüksek değerli bir () anlamına geliyor. ()’nın değeri 1 olursa, bu değer sabit kalır. Aksi halde, kinetik enerjinin, ya da potansiyel enerjinin üstün gelmesine bağlı olarak giderek hızlanan oranlarla azalır ya da çoğalır. 1’den küçük bir değer, aradan milyarlarca yıl geçtiğine göre, şimdi ya sıfırlanmış, ya da sonsuza gitmiş olmalıydı. Oysa bakıyoruz bugün () çok şükür ne sıfır, ne de sonsuz. O halde başlangıçta bu değişken ya tam olarak 1, ya da buna çok yakın bir değer taşıyordu. Peki neden? Büyük Patlama kuramı bu soruya rastlantıdan başka bir yanıt veremiyor.

Büyük Patlama, Evren’in milyarlarca yıllık tarihini başarıyla betimleyen bir kuram ve tüm bu sorunların onun geçerliliğine gölge düşüremeyip, yalnızca bazı eksiklerini vurguluyor. İşte bu eksikliği kapatmak için 1980’li yılların başlarında Alan Guth, Katsuhiko Sato, Andrei Linde, Andreas Albrecht ve Paul Steinhardt, “şişme” (enflasyon) kuramını geliştirdiler. Bu kurama göre Evren ilk anlarında çok hızlı bir genişleme sürecinden geçti. Zaman içinde yavaşlayan Büyük Patlama genişlemesinin aksine bu, giderek hızlanan, sonunda ışık hızını da aşan bir şişmeydi. Ancak bu maddenin hızının hiçbir zaman ışık hızını geçmeyeceği biçimindeki genel görelilik yasağını delen bir hız değil. Çünkü ışık hızını aşarak genişleyen madde değil, yalnızca boşluk. Şişme, Evren’in düzgünlüğünü kolaylıkla açıklayabiliyor. Çünkü bu kurama göre başlangıçta Evren’in tüm yöreleri birbirine çok yakın olduklarından sıcaklık ve yoğunluk farkları eşitlenebilmişti. Şişme, Evren’in nasıl olup da böyle düz görüldüğünü de açıklıyor. Evren’in ilk biçimi

mi ne olursa olsun, ani şişme ona muazzam bir genişlik sağlıyor ve çok büyük bir bölümünü gözlem alanından çıkarıyor. Görebildiğimiz küçücük bölümü de bize son derece düz görünüyor. Tıpkı kısa uzaklıklarda dünyanın yüzeyinin de tepsi gibi düz görünmesi gibi. Demek oluyor ki, şişme, ()’nın değerini 1’e doğu itiyor. Bu durumda standart şişme kuramında Evren’in düzgün yoğunluğuyla, düz biçimi, birbirleriyle ilintili. Gözlediğimiz kadar düzgün (uniform) olması için Evren’in son derece düz (flat) W olması, ()’nın değerinin de 1’den ancak 100 000’de bir sapma göstermesi gerekiyor. Bu nedenle neredeyse 20 yıl süresince gözlenen düz yapı, kuramın başarılı bir öngörüsü olarak değerlendirildi.

Ne var ki, son yıllarda gökada kümeleri ve uzak süpernova üzerinde



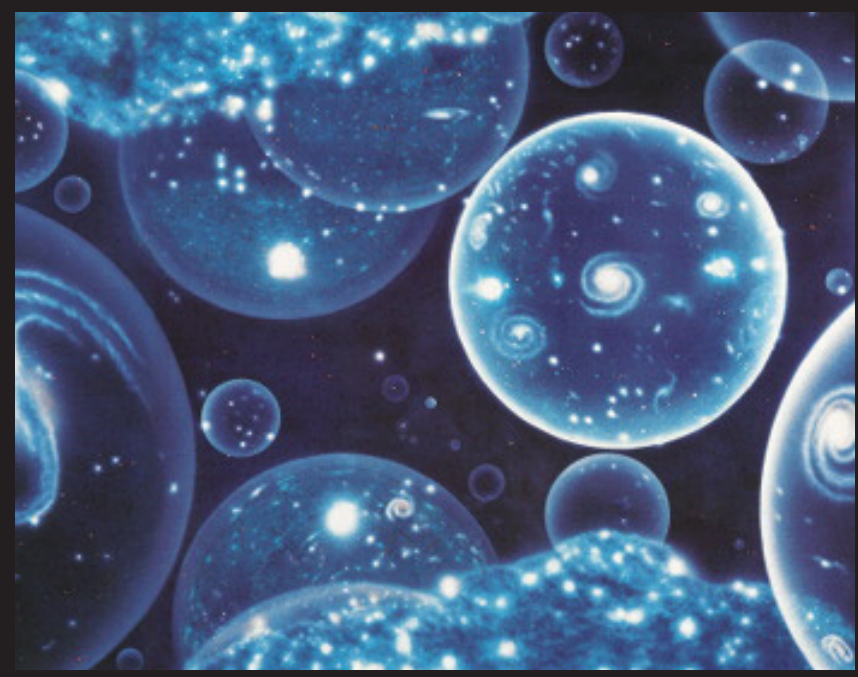
yürütülen gözlemler, kütleçekiminin, genişlemeyi frenleyebilecek bir değerden çok uzak olduğunu ortaya koydu. O halde maddenin yoğunluğu öngörülenin çok altında ve ()’nın değeri de yaklaşık 0,3 olmalıydı. Bu da Evren’in düz değil bükülmüş, hatta açık olması anlamına geliyor.

Gözlemlerle kuram arasında baş gösteren çelişki ne anlama geliyor? Varılabilecek bir sonuç, şişme kuramının tümüyle geçersiz olduğu. Ancak bu, Büyük Patlama’nın bazı büyük tutarsızlıklarını giderecek başka bir kuram gerektiriyor ki, böyle bir kuram ufukta görünmüyor. Bir başka açıklama, uzak süpernova gözlemlerinin destekler görüldüğü “hızlanan genişleme” modeli. Böyle bir genişleme, daha önce gördüğümüz gibi bir “kozmojik sabit” ya

da bir “boşluk enerjisi” gerektiriyor. Aslında kütleçekimine karşı bir kuvvet etkisi yapıyor görünse de bu boşluk enerjisi, aynı zamanda garip bir tür madde gibi davranarak Evren’i sıradan maddenin yaptığı biçimde bükme eğiliminde. Dolayısıyla iki ters eğilimin etkileşmesi sonucu Evren yeniden düzleşiyor ve bu durumda da şişme kuramıyla gözlemler arasındaki uyumsuzluk ortadan kalkıyor. Ancak kozmojik sabitin değeri ve uzak süpernova gözlem sonuçlarıyla ilgili bazı kuşku- lar, kozmologları yeni arayışlara itiyor.

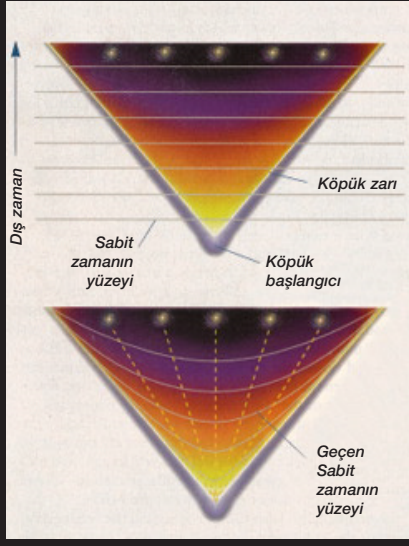
Evrenler Köpüğü

Bu arayışlardan biri de, gözlemlerden kuşku duymaktan vazgeçip, düz bir evrenin gerçekten de şişme kuramının vazgeçilmez bir sonucu olup olmadığını sorgulamak. Bunu 1980’li yılların başlarında ilk kez yapanlar Harvard Üniversitesi’nden Sidney Coleman ve Frank de Luccia ile, Princeton’dan J. Richard Gott III. Bu evrenbilimcilerin getirdiği açıklamalar, daha sonra başka kuramcılar tarafından da geliştirilip zenginleştirildi. Ve elbette kuram, geçerliliğini korumak için daha karmaşık hale geldi. Giderek kozmologlar arasında daha çok kabul gören bu kuram, kendi öncülünde bulunmayan ve kütleçekiminin potansiyel enerjisinin en düşük düzeyinde dengelenmesini geciktiren, bir ara “sahte boşluk” evresi içeriyor. Her iki şişme modelinde de genişlemenin motoru, temel parçacıkların kuantum modelindeki karşılığı olan “kuantum alanları”nın bir yenisi, “inflaton (şişirme) alanı”. Yani bir anlamda bir şişirme parçacığı. İnflaton alanı, eski şişme modelinde bir süre salındıktan sonra sonunda potansiyel enerjisinin en alt düzeyine yerleşiyor. “Açık şişme kuramı” ise bir ara evre içeriyor. İnflaton alanı, potansiyel enerjisinin dibine düşmeden önce kısa bir süre bir “sahte boşluğa” hapsolüyor. Kuramcılar, bu ara evrenin etkilerini, çaydanlıkta suyun kaynamasına benzetiyorlar. Yani, fokurdayan bir çaydanlıkta rasgele hava kabarcıkları oluşması ve bunların, içlerindeki sıcak buharın basıncıyla genişlemesi ve yüzey gerilimini yenererek buhar olarak havaya karışmaları gibi bir süreç yaşanıyor. Sahte boşluk evresinde oluşan “gerçek boşluk” kö-



SONLU UZAYDA SONSUZ EVREN?

Bu çelişkili durum aslında olası; çünkü zaman köpük evrenin dışında (üst çizim) ve içinde (alt) ayrı algılanıyor. Burada zaman, dışarıdaki gözlemciler göre, yukarı doğru tırmanıyor. Uzay, tanımı gereği farklı noktaları belli bir zamanda (yatay çizgiler) birleştiren çizgi ya da yüzeylerden başka bir şey değil. Bu durumda köpük sonlu görünüyor. Oysa köpük içindeki gözlemciler, yalnızca geçen zamanın, yani köpüğün belirli bir noktaya gelişinden sonra geçen zamanı algılayabiliyorlar. Geçen zaman arttıkça, sıcaklık düşüyor ve bu da fiziksel değişimi yönlendiriyor (sarı,sıcak; siyahsa soğuk). Sabit geçmiş zamanların yüzeyleri, yukarı kıvrılan ve köpüğün duvarına hiç değmeyen bir hiperbol oluşturuyor. Köpük içindeki noktalar (kesik çizgiler), kozmik genişleme (büyük patlama) nedeniyle birbirinden uzaklaşıyor ve dolayısıyla biz kendimizi sonsuz bir uzayda yaşıyor sanıyoruz..



püklerinden çoğu, yüzey gerilimini alt edemeyip yok oluyor. Bazılarıysa öylesine büyüyorlar ki, artık kuantum etkileşimleri önemini yitiriyor ve hiçbir dirençle karşılaşmayan köpükler, ışık hızıyla genişliyor. Ancak bu genişlemenin bir yerinde inflaton alanı, sahte boşluktan kurtuluyor ve dibe doğru düşüyor. Bundan sonra köpük içindeki uzay, standart şişme kuramındaki süreci izliyor (yani yavaşlayarak sürüyor.) Bu köpüğün içi, bizim evrenimize karşılık geliyor. İnflaton alanının sahte boşluktan kurtulmasıysa, eski kuramlarda Büyük Patlama'nın başladığı ana karşılık geliyor. Ancak, Büyük Patlama, köpüğün merkezinden farklı uzaklıktaki noktalar için değişik zamanlarda meydana gelmiş oluyor. Bu

zaman farkı nedeniyle de inflatonun değeri köpük içinde her yerde aynı değil. En büyük değeri, doğal olarak sahte boşluk evresinde oluşmaya başlayan köpüğün zarında, en düşük değeriye kürenin merkezinde. Böyle olunca da inflaton, yani bir anlamda "zaman" köpük zarında sabit bir değere ulaşan bir eğri çiziyor. Bu eğrinin biçimiysa bir hiperbol. Yani son gözlemlerin gerekli kıldığı düşük yoğunluklu Evren'in alması gereken biçim. İşte size kuramla gözlemin yeni bir uyumu...

Bir köpük evrende yaşamının garip bazı sonuçları var. Bunlardan biri, evren dışındaki bir yabancının, kolaylıkla köpüğün içine girebilmesi. Ancak bir kere girdikten sonra konuşumuzun

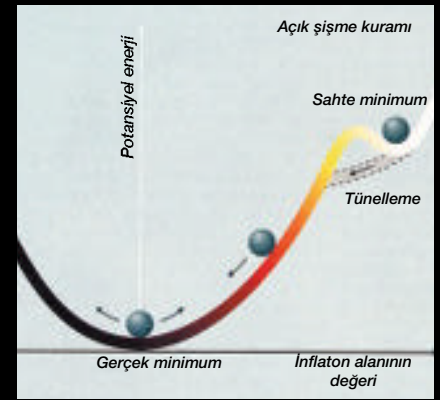
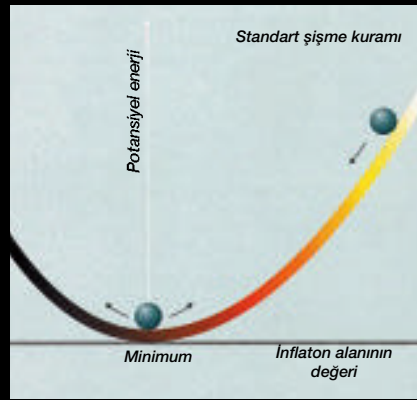
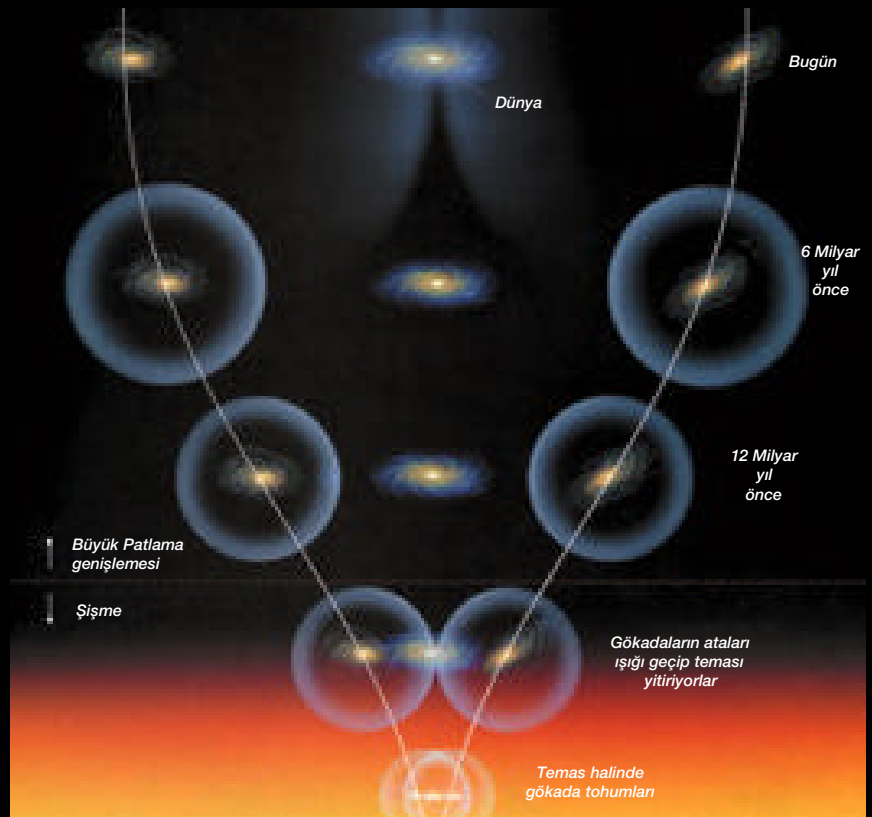
yeniden dışarıya çıkması olanaksız; çünkü bunu başarabilmek için ışıktan daha hızlı hareket etmesi gerekecek. Bir başka sonuç da tıpkı içinde yaşadığımız gibi sonsuz sayıda köpük evrenin, durmadan genişleyen bir sahte boşluk içinde çalkalanması. Peki bu köpükler çarpışırsa ne olacak? Kuşku yok ki, kozmik boyutlarda bir patlama, çarpışma noktası yakınlarında her şeyi yok edecek. Ama hemen paniğe kapılmayalım. Köpük oluşması öylesine düşük bir olasılık ki (kaynayan çaydanlıktaki hareketli atomların sayısı ile köpüklerin sayısını karşılaştıran) ne kadar çok sayıda olursa olsun evrenler arasında bir çarpışma pek olası değil. Çarpışmanın olduğunu varsaysak bile, çarpışan evrenlerin çok büyük bir bölümünde herhangi bir etki görülmeyecek. Köpüklerin içinde güvenli bir mesafede bulunan gözlemciler, yalnızca gökyüzünün bir yerinde kaynayan sıcak bölgenin ne anlama geldiğini düşünüp duracaklar.

Sınav Yakın

Peki bu köpük evrenler gerçekten var mı, yok mu? Açık şişme kuramına göre yalnızca var değil, aynı zamanda zorunlu. Klasik, ya da standart şişme kuramıysa, kozmolojik sabit sayesinde açmazlarından kurtulup, çok sayıda evrene başvurmadan da gözlemlerle uyum sağlayabilecek. Bu durumda hangi kuramın doğru olduğunu nasıl anlayacağız? Elbette ki yeni gözlemlerle. Güzel de neyi gözleyeceğiz? Her iki kuram da kuantum etkiler nedeniyle şişmenin evrenin değişik bölgelerinde değişen bir hızla gerçekleşmiş olması gerektiğini söylüyor. Şişme durduktan sonra inflaton alanında bir miktar artık enerji kalmış oluyor ve bu da bildiğimiz ışınımına dönüşüyor. Bu ışınım, şişmeden sonra Büyük Patlama' genişlemesinin motoru. Ama şişme süresi evrenin çeşitli yerleri için farklı olduğundan, artık enerji ve dolayısıyla ışınımın yoğunluğunda da farklılıklar meydana geliyor Bugün mikrodalga fon ışınması dediğimiz ışınım, bu dalgalanmaların bir kalıntısı. Farklı şişme kuramları, bu fon ışınımı için farklı öngörülerde bulunuyor. Açık şişme modeline göre bu ışınım, yalnızca evrenimiz içindeki dalgalanmaları değil, köpüğümüzün dışından gelen, hat-

Kozmolojinin en önemli paradokslarından biri, evrenin neredeyse mükemmel düzgün - lüğü. Klasik Büyük Patlama genişlemesi (şeklin üst tarafı), bu düzgünlüğü açıklayamıyor. Milyarlarca yıl önce göğün karşı yönlerinde iki gökada parlamaya başlıyor. Evrenin genişlemesine karşı ışık, genişleme hızını geçiyor ve Samanyolu'nda bize ulaşıyor. Biz her iki gökadayı da bakarak birbirlerine benzediklerini görüyoruz. Ama iki uçtaki gökadalardan ışığı (ışınımı) henüz birbirlerine ulaşmadı. O halde nasıl olup da bu gökadalara benzer bir görüntü aldılar? Şişme (şeklin alt yanı) bunu açıklayabiliyor. Evrenin ilk anlarında, gökadalardan atası olan yapılar birbirlerine değiyorlardı. Daha sonra Evren giderek hızlanan bir şişmeyle bu yapıları ışık hızını geçen bir hızla birbirlerinden uzaklaştırdı. O zamandan beri karşı yönlerdeki uzak gökadalara birbirlerini göremiyorlar. Şişme durunca ışık, yavaş yavaş gökadalara yaklaşıp geçmeye başladı. Milyarlarca yıl sonra aynı gökadalara yeniden birbirleriyle temasa geçecek.

Evren'in genişlemesini sağlayan kuvvetin kaynağı olan inflaton alanı, bayır aşağı yuvarlanan bir top gibi potansiyel enerjisini (dikey eksen) en alt düzeye indirmek istiyor ve bunun için kendi değerini değiştiriyor (yatay eksen) Zamanın başlangıcındaki quantum süreçleri nedeniyle inflaton alanı tepe noktalarda bir yerde bulunuyor. Standart şişme kuramında, kuvvet düzgün bir düşüşle en alt değerine iniyor. Açık şişmedeyse, kuvvet önce bir çukura (ya da sahte minimuma) yuvarlanıyor. Evren'in çok büyük bir kısmında kuvvet, bu çukurda hapis kalıyor. Ancak birkaç "talihli" bölgede, tünelleme yoluyla tuzaktan kurtuluyor ve düşüşünü tamamlıyor. Bu bölgelerden birisi, bizim yaşadığımız köpüğe dönüşüyor. Şişme kuramının her iki biçiminde de kuvvet alanı, son yuvasına oturmadan önce sağa sola salınıyor ve böylelikle uzayı ışınım ve maddeyle dolduruyor. Artık Büyük Patlama başlamış oluyor.



ta köpüğün oluşma sürecindeki bir takım etkileri de içeriyor.

On yıl kadar önce Kozmik Fon Araştırma Uydusu (COBE) fon ışınımında çok ufak çaplı dalgalanmalar saptayarak, en azından Büyük Patlama'nın geçerliliğini kanıtladı. Ancak Büyük Patlama genişlemesinden önce olanlar, yani şişme kuramlarının sınanması için çok daha duyarlı ölçümler gerekli. İşte yeni yüzyılın hemen başında, 2000 yılının sonlarına doğru bu ölçümleri yapacak araçların ilki, NASA tarafından uzaya gönderilecek. Mikrodalga Anizotropi Sondası (MAP) adını taşıyacak uydunun ardından, Avrupa Uzay Ajansı, 2007 yılında Planck adlı daha gelişkin bir ölçüm aracını uzaya gönderecek. Bu durumda, cevap yakın. Bir köpükte mi

yaşıyoruz, yoksa kozmolojik sabit mi Evren'i genişletiyor, çok geçmeden anlayacağız. Belki de hiçbirinin geçerli olmadığı anlaşılacak ve kozmologlar yeni kuramlar arayışına girecek...

Fiziğin dili artık hızla değişiyor. Ayna parçacıklardan, ışıktan çok daha hızlı ve zaman içinde geriye giden parçacıklardan söz edilir hale geldi. Artık yasak, tabu kalmadı. Nereye kadar bilim, ne kadarı fantezi, saptamak olanaksız. Ancak şurası kesin ki, üzerinde deneyler yürütülebilen, gözlemlerin kanıtlamaya uğraştıkları, fazla "uçuk" olmayan kuramlar bile, önümüzdeki beş on yıl içinde büyük depremler yaratmaya aday.

Genel görelilik ve kuantum mekaniği, son günlerini yaşayan yüzyılımıza

damgasını vuran, ufukumuzu olağanüstü genişleten iki büyük atılımdı. Bunların, artık yakın gibi görünen birleşmeleri, daha da büyük ufuklar açacak insanlığa. Kim bilir, büyük birleşim kuramının dışında, yeni yüzyıl, yeni fizikle belki yeni ve daha büyük sansasyonlar getirecek...

Raşit Gürdilek
Tekin Dereli*

*Prof. Dr., ODTÜ Fizik Bölümü

Kaynaklar

- Adams, S., "A Theory of Everything" *New Scientist*, 20 Şubat 1999
- Battersby, S., "Space Oddity" *New Scientist*, 16 Ocak 1999
- Bucher, M.A., Spergel, D.N., "Inflation in a Low-Density Universe" *Scientific American*, Ocak 1999
- Chown, M., "Five and Counting" *New Scientist*, 24 Ekim 1998
- Chown, M., "Dying to Know" *New Scientist*, 20/27 Aralık 1997
- Chown, M., "Anything Goes" *New Scientist*, 6 Haziran 1998
- Irion, R., "The Lopsided Universe" *New Scientist*, 6 Şubat 1999
- Silk, J., Evrenin Kısa Tarihi, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara 1997
- Trimble, V., "Closing in on Cosmology" *Sky & Telescope*, Şubat 1999
- <http://www.sns.ias.edu/~max/toe.html>
- <http://map.gsfc.nasa.gov/html/lambda.html>