

BİLİM ve TEKNİK



YENİ UFUKLAR EVREN KURAMLARI

MAYIS 2007 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR
HAZIRLAYAN: RAŞİT GÜRDİLEK

EVREN KU

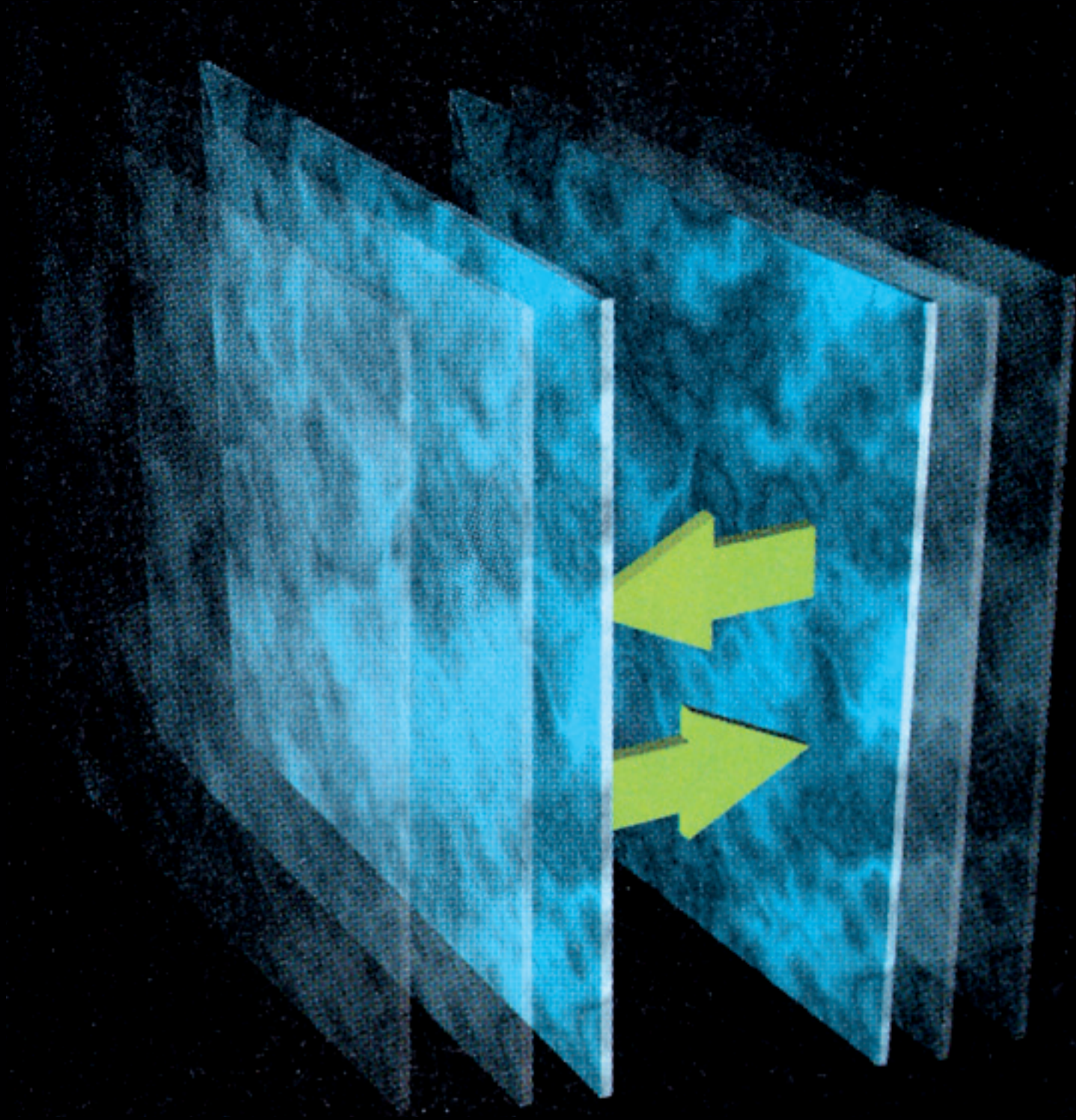
Başını kaldırıp hayranlıkla seyrettiği yıldızların, gezegenlerin nasıl ortaya çıktıklarını, nasıl yok olduklarını, nasıl hareket ettiklerini, enerjilerini nereden aldıklarını özel olarak merak etmeyen biri için gökbilimin temel sorunu, günlük yaşamımızda alıştığımız, hadi daha da ileri gidelim, okullarda öğrendiğimiz ya da zihnimizde canlandırabildiğimiz ölçülerle, boyutlarla uyumsuzluğu. Standart uzaklık birimi olan ışık yılı, daha aşına olduğumuz bir ölçüye çevirmeye kalktığımızda karşımıza çıkan sayı, yaklaşık 10 trilyon kilometre. Bu durumda bize en yakın yıldız 40 trilyon kilometre ötemizde. Yolculuğumuzu sürdürelim. Samanyolu'nun yaklaşık 100 milyar yıldız barındırdığı sanılan, 100.000 ışık yılı çapındaki diskini geçtik. Tanımadığımız, ışımayan gökcisimleri ya da tanımadığımız egzotik parçacıklardan oluşan, çok daha ötelere kadar uzanan karanlık haleden de çıktık. Şimdi gökadar arası boşluktayız. Kendi gökadamızın cüce uydularını geride bıraktık, ufak tefek komşularımızı da selamladık, 2,4 milyon ışık yılı uzaklıkta, mahallemizin patronu Andromeda gökadasını da geçtik. Yerel Grup diye adlandırılan kümemizden dışarı çıktığımızda, aslında bir arpa boyu yol gitmiş olmuyoruz. Ne yana bakarsak bakalım, görüyoruz ki ileride böyle küçük grupların oluşturduğu daha büyük gökada kümeleri, bunları bir araya getiren süperkümeler var. Arada muazzam boşluklar, bunların çevresine dantel gibi yayılmış gökadarlar, ipliklerin kesişme noktalarına çöreklenmiş, binlerce gökadadan oluşan daha başka kümeler. Ne yana bakarsak bakalım, yaklaşık 14 milyar

KURAMLARI

ışık yılı uzunlukta bir doğrultuda dizilmiş gökadalardır. Herbiri milyarlarca yıldızdan oluşmuş, en az 200 milyar gökada. Artık kozmolojinin (evrenbilim) ilgi alanındayız. İlgi konusu evrenin ortaya çıkışı, içeriği, işleyişi, tarihi ve geleceği. Bu alanın sorunuysa yalnızca çok daha büyümüş sayılar değil. Çünkü evreni açıklama iddiasındaki bu bilim dalı, akıl almaz uzaklıkların, olağanüstü büyük yapıların yanı sıra, atomaltı parçacıkların etkileşimiyle de ilgili. Burada yalnızca sıradan meraklılar değil, pek çok bilim adamı için de sorun, insanlığın binlerce yıldır sorduğu soruların çok net yanıtları olmaması. Olanların da yalnızca alıştığımız ölçeklerle değil, alıştığımız mantık kurallarıyla da çelişir görünmesi. Görünen bir başka özelliği de, soruları yanıtlar görünen açıklama ya da kuramların, kısa sürede geçerliliğini yitirmesi.

Bu çalışma, daha önce Bilim ve Teknik Dergisi'nin Ağustos 2002 sayısında yayımlandı.





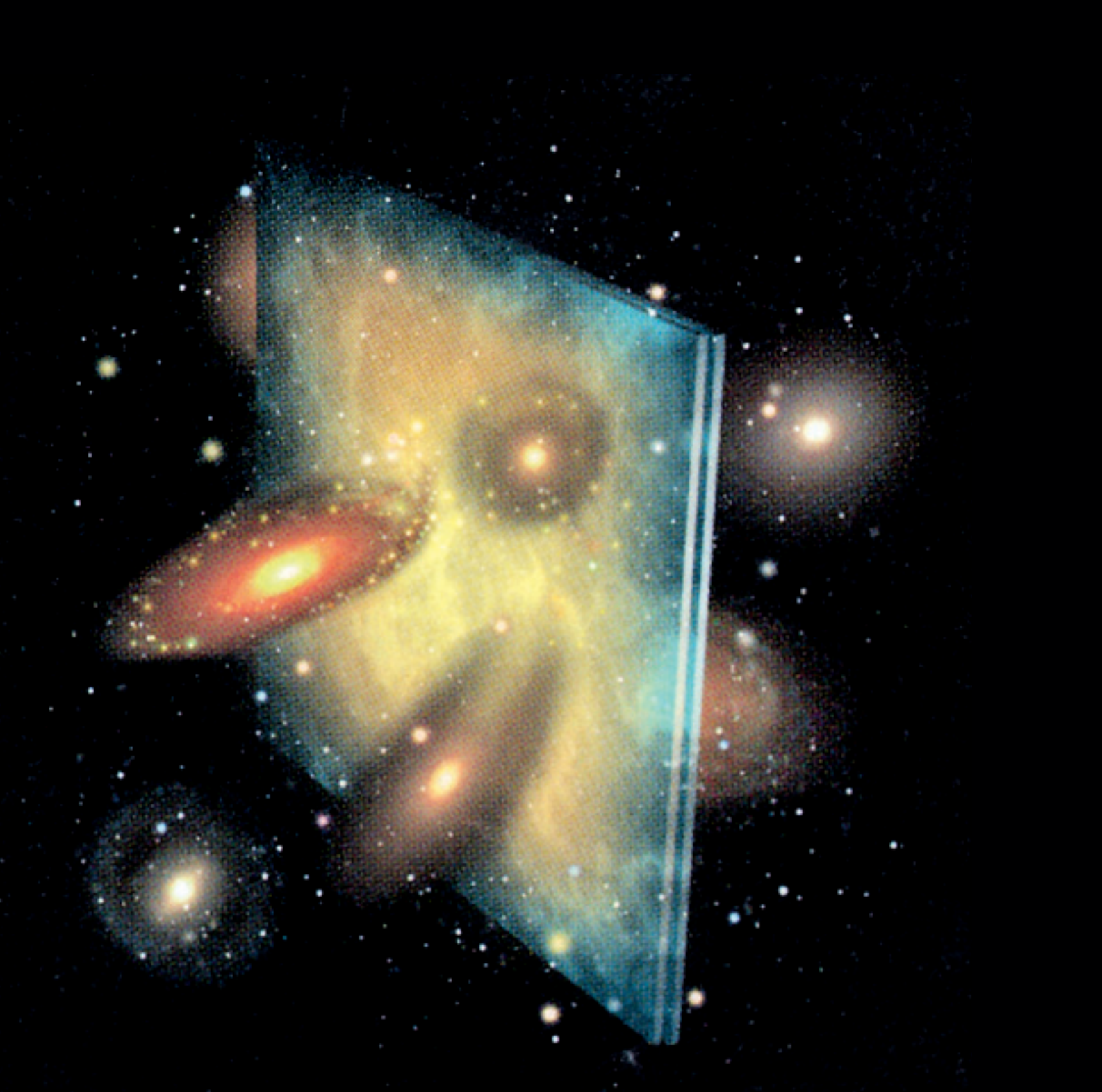
Büyük patlama, zihnimizdeki birçok sorunu çözdüğü için sarıldığımız bir kuram... gerçi bırakın tüm evrendeki maddeyi, Dünya'yı bile çok gerilerde bir zaman içinde bir nokta halinde düşünmek güç... Ama evrenin 14 milyar yıl önce başladığı yolundaki hesaplar, yaşantımızda alıştığımız bir başlangıç duygusuna cevap veriyor...

Üstelik büyük patlama, evrenin içeriği, yoğunluğu, madde ve kuvvet parçacıklarının oluşumu ve değişimleri, yıldızların ve gökadalara nasıl ve ne

zaman oluştukları konusunda bize çok değerli bilgiler sunmuş olan bir kuram.

Ancak tek başına açıklamada yetersiz kaldığı olgular da yok değil. Bunların başında evrenin büyük ölçekte nasıl bu kadar homojen olduğu geliyor. Büyük patlama, hemen ardından evrende meydana gelen yoğunluk farklarını açıklamakta da o kadar başarılı değil. Ayrıca evrenin genişleme hızının sabit mi olduğu, yoksa giderek hızlandığı mı yolundaki tartışmalara da fazla yardımı yok.

Kozmolojinin günümüzdeki standart modeli, orijinal büyük patlama ile şişme (enflasyon) senaryosunu birleştiren bir model. Şişme, Büyük Patlama'dan hemen sonra, evrenin yalnızca saniyenin neredeyse sonsuz küçüklükteki bir kesiri süresince (10^{-30} s) muazzam bir hızda genişlediğini söyleyen, ve mikrodalga fon ışıınımı üzerinde yapılan son gözlem ve ölçümlerle doğrulanan bir senaryo. Şişme, evrenin homojenliğini ve büyük ölçeklerde (100 megaparsekten daha büyük) gözlenen düzgün (izotropik) yapısını, düz geo-



metrisini, gökadalatrın dağılımını ve mikrodalga fon ışınımındaki dalgalanmaları açıklayarak Büyük Patlama'nın eksikliklerini gidermek üzere geliştirilmiş bir senaryo.

Ancak, tüm bunlar standart modelle, günümüz gözlemleriyle tümüyle örtüşen bir geçerlilik kazandırmıyor. Standart model, son gözlemlerin kesinlik kazandırdığı ivmelenen genişleme olgusunu ve karanlık enerji diye tanımlanan itici ve değişken boşluk enerjisini öngörmüyor. Standart modelin çok eleştirilen bir kusuru da "za-

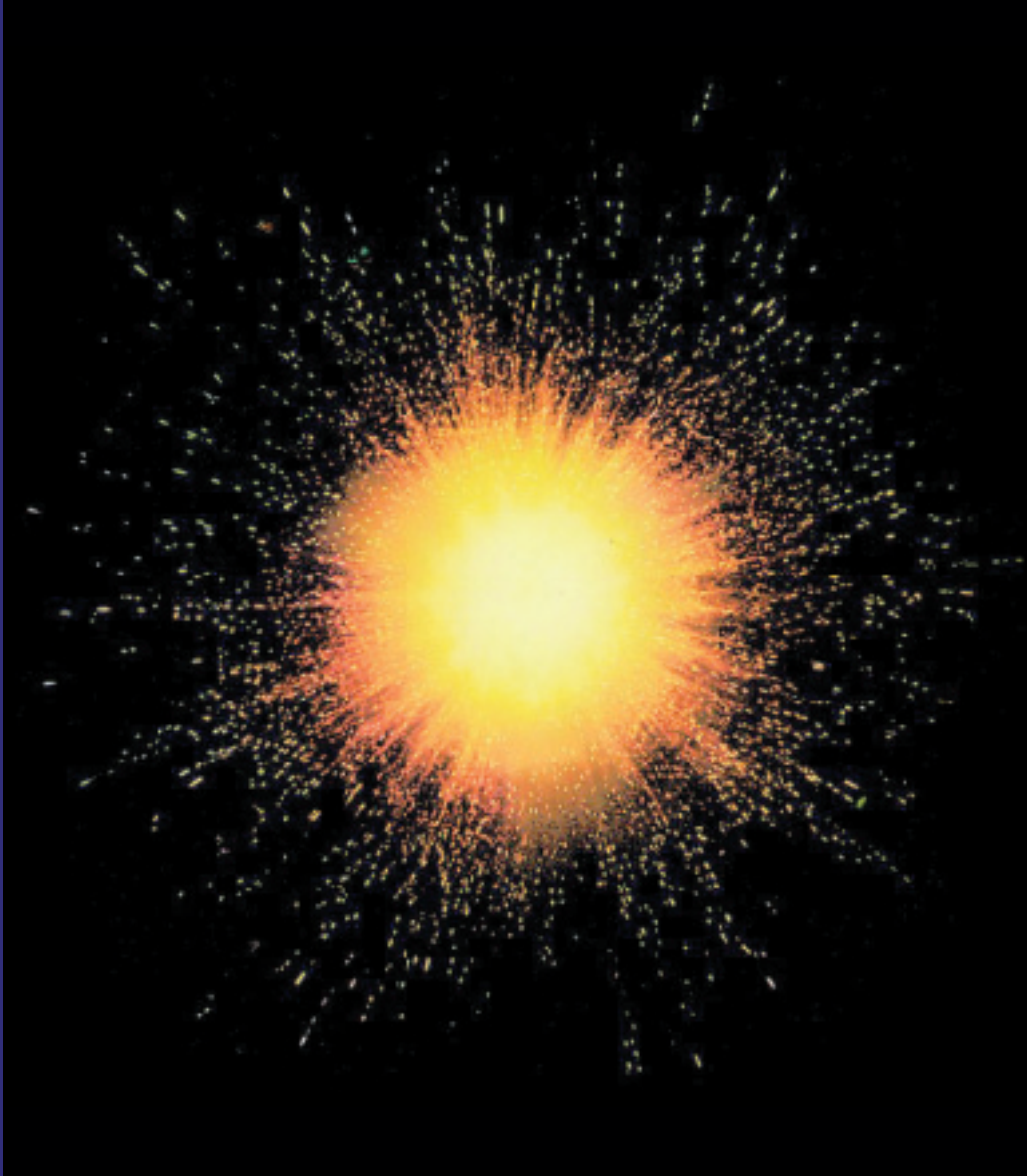
manın başlangıcını", evrenin başlangıç koşullarını ve evrenin uzak gelecekteki kaderi gibi önemli soruları havada bırakması.

Kozmolojik Dönme Dolap

Daha önce evrenin ivmelenen bir hızla genişlediği tezini ortaya atanlardan Paul Steinhardt (ve öğrencisi Neil Turok), evrenin bir "patlamayla" başlayıp "çöküş"le sona eren kozmik

evrelerinin birbiri peşisıra sonsuza kadar sıralandığı kozmolojik bir model önerdiler. Steinhardt ve Turok'un önerisinin can alıcı noktası, standart modelin kusurları olan başlangıçtaki "tekilliği", günümüzdeki "karanlık enerjiyi" (quintessence) öngörmemesi gibi kusurlarını taşımayan, ayrıca günümüzde giderek yandaş kazanan sicism kuramının önerilerini de içeren bir genişleme tablosu çizebilmesi.

Standart modeldeki şişme evresi yerine Steinhardt'ın "Döngüsel Evren" modelinin her döngüsünde, (son



BÜYÜK PATLAMA



yıllarda gözlemlerle doğrulanan) ağır bir tempoyla ivmelenen bir genişleme dönemi yer alıyor ve her seferinde bunu bir büzüşme dönemi izliyor. Steinhardt'a göre bu büzüşme, Büyük Patlama modelinin tek başına açıklamakta yetersiz kaldığı evrenin düzlüğü, homojenliği ve enerjisi gibi olguların ortaya çıkmasını sağlayarak, bir sonraki döngünün hazırlığını yapıyor.

Steinhardt'ın modeli, sonsuz sayıda genişleme ve büzüşme evresinin birbiri ardına sıralandığı bir evren resmi çiziyor. Tahmin edilebileceği gibi bu tablo, zamanda ne bir başlangıca, ne de bir sona gerek bırakıyor. Ayrıca bir başlangıç olmadığından "başlangıç koşulları" sorunu da kendiliğinden ortadan kalkmış oluyor. Steinhardt, modelinin karanlık madde ol-

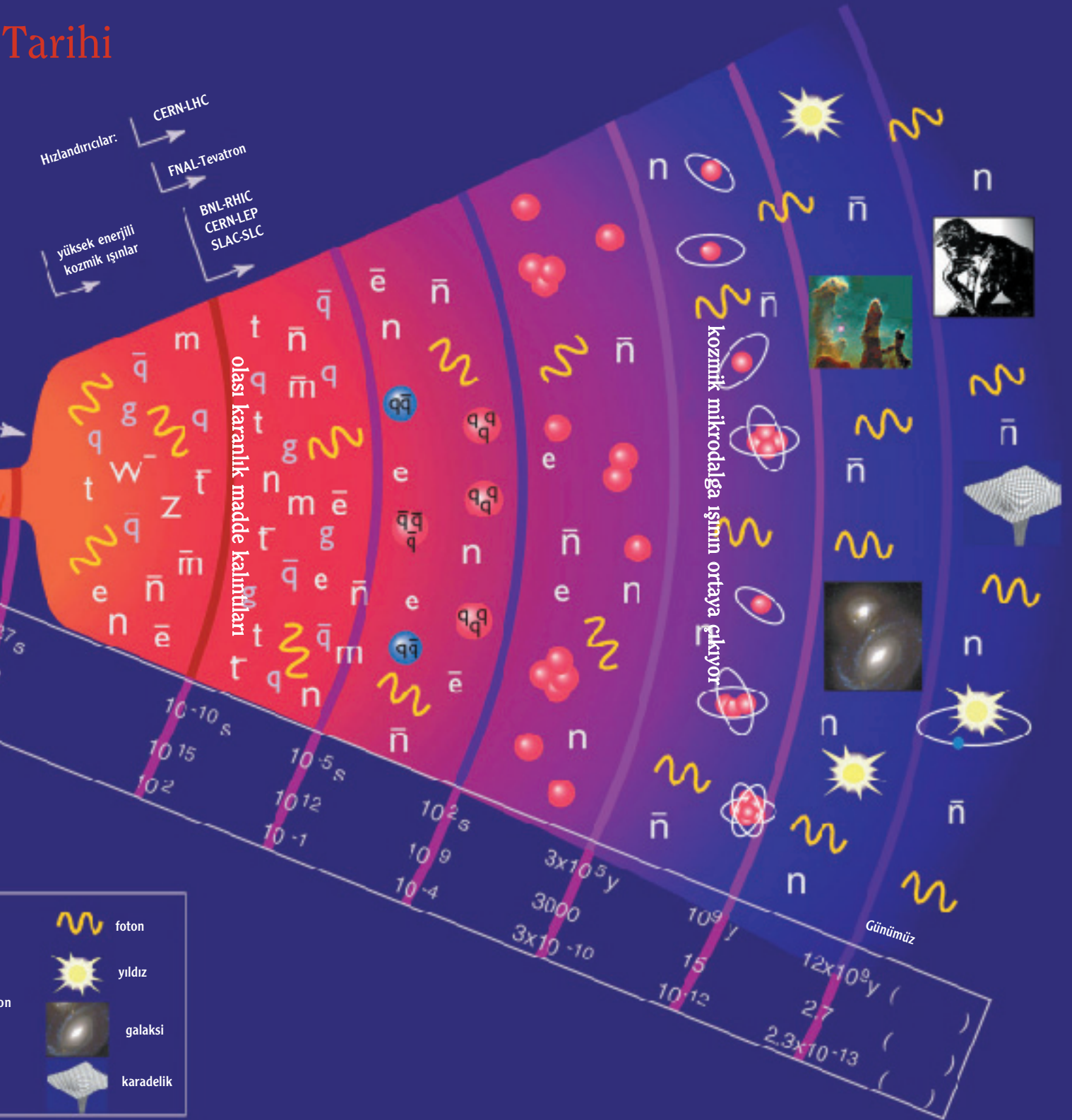
gusunu da açıkladığı iddiasında. Ek olarak da şişme senaryolarına gerek kalmaksızın evrenin homojen yapısı, düz geometrisi ve içindeki yoğunluk dalgalanmalarını da yeterli bir biçimde ortaya koyduğunu söylüyor.

Steinhardt'ın modeli, 1930'larda ortaya atılmış "salınlı evren" modellerinin, kusurlarından arındırılmış bir benzeri görünümünde. Salınım modelleri, madde yoğun ve dolayısıyla kütleçekiminin genişlemeyi giderek yavaşlatıp sonunda geri çevirdiği kapalı bir evren düşüncesi üzerine kurulmuşlardı. Genişlemeyi çökme takip ediyor ve çökmenin yol açtığı enerji, bir yay gibi evrenin yeniden genişlemesine yol açıyordu. Bu modellerin sorunlarının başında, yine bir tekillik noktasından geçme zorunluluğu geliyordu. Üstelik

bir döngü sırasında oluşan entropi (düzensizlik), bir sonraki evrenin düzensizliğine ekleniyor ve sonuçta her yeni döngü, bir öncekinden daha uzun hale geliyordu. Bu da geriye doğru gidildiğinde giderek kısalan döngüler, ve en sonunda da zaman içinde bir başlangıç noktasını gerekli kılmaktaydı. Ayrıca bugün evrenimi-

Anahtar :		W, Z	bozonlar
q	kuark		mezon
g	gluon		baryon
e	elektron		iyon
m	muon		atom
n	nötrino		

Tarihi



zin madde yoğun, kapalı bir evren olmadığını biliyoruz. Tersine, içinde tanıdığımız ve tanımadığımız madde türlerinin, toplam enerji yoğunluğunun küçük bir bölümünü oluşturduğunun farkındayız. İtici bir karanlık enerjinin egemenliğinde düz bir evren olduğunu da mikrodalga fon ışınımı üzerindeki ölçümlerden biliyoruz.

Bazı benzeşmelere karşın, Steinhardt'ın modelinin, salınımlı modellerden temel farkı, kapalı ve sonlu bir evren yerine, sonsuz ve düz bir evreni temel alması. Genişlemeyi geriye çevirip büzüşme devresini başlatmak için model, uzayın eğriliği yerine negatif (itici) bir potansiyel enerjiden (kütleçekim) yararlanıyor. Ancak, döngüsel

evren modelinde genişleme evresi oldukça uzun. Önce evren radyasyon ve maddenin egemenliğinde kalıyor, daha sonraysa giderek hızlanan uzun bir genişleme süreci başlıyor. Steinhardt, modelindeki genişlemenin, son yıllarda farkına varılan genişlemeyle örtüşüğünü de vurguluyor. İtici karanlık enerjinin sürüklediği genişleme, mo-

del için hayati önemde. Çünkü genişleme, mevcut evrendeki entropi, karadelikler ve öteki enkazı zaman içinde yok ederek, büzüşme, yaylanma ve yeni döngünün başlaması aşamalarına geçmeden önce evreni başlangıçtaki orijinal boşluk haline getiriyor.

Döngüsel evren modeli, elbette bir felsefi öneriler dizisinden ibaret değil. Önermelerini kuantum mekaniğine, kısmen de sicim kuramı adlı yeni bir teorik modele dayandırıyor (Bkz: Yeni Ufuklara-Sicim Kuramı). Çıkış noktası da şişme modelinde olduğu gibi, dört boyutlu bir kuantum alan kuramı içinde kütleçekiminin yanı sıra bir skalar alan oluşması. Şişme modelinden ayrıldığı noktalar, kütleçekimin biçimiyle, skalar alanın madde ve ışınlımla birleşmesinin değişik biçimleri.

Şişen Boşluk

Parçacık fizikini yöneten yasalara göre, çok yüksek enerjilerde, örneğin Büyük Patlama'yı hemen izleyen anlarda evren trilyonlarca derece sıcaklıkta, neredeyse sonsuz yoğunlukta bir noktacı halindeyken ortaya çıkan madde, garip biçimler alabiliyor. Bazı

durumlarda, bu parçalar kütleçekimini tersine çeviriyor ve kütleli parçacıklar birbirlerini çekecekleri yerde itebiliyorlar. Yine kurama göre, bu tür parçacıkların garip bir de özelliği oluyor: İçinde bulundukları uzay muazzam ölçüde genişlese de parçacıkların yoğunluğu aynı kalıyor. Parçacık fiziği kurallarına göre, uzayı dolduran bu itici madde, bir skalar alan olarak tanımlanabiliyor. Peki skalar alan ne? En basit anlatımıyla, uzayın değişik noktalarındaki bir sayı setini ifade etmenin bir yöntemi. Herhangi bir parametreyi farklı noktalarda ölçebiliyorsanız, (bir odadaki hava basıncı gibi) o zaman bir hava basıncı skalar alanından söz edebilirsiniz. Skalar alanların bir özelliği de kuantum dalgalanmalarının etkisi altında bulunmaları. Örneğin, yerçekiminin tersi etki yapan bir skalar alanda ortaya çıkan kuantum dalgalanmalar yeterli büyüklükteyse, uzayın bir bölümü hızla genişleyebilir. Bu skalar alanın içinde bulunduğu en küçük uzay parçası bile, çok kısa bir süre içinde exponential biçimde (katlı çarpanlarla) şişebilir.

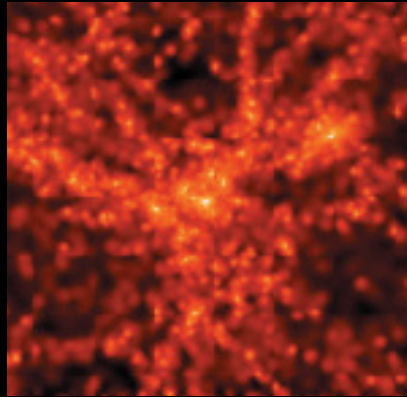
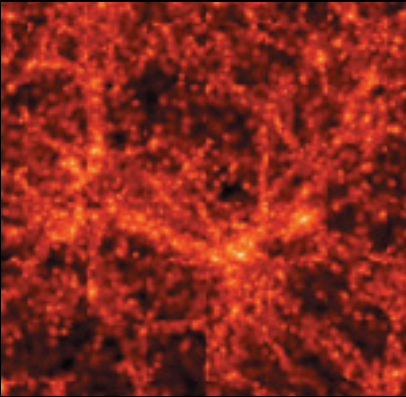
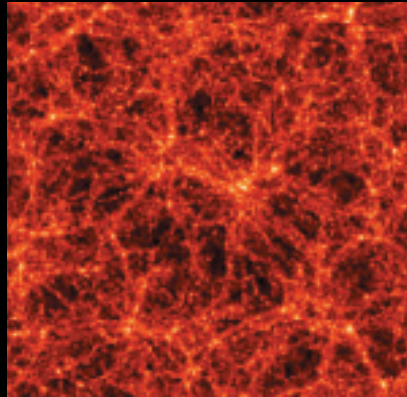
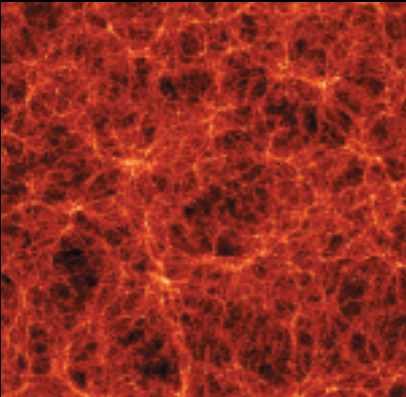
Princeton Üniversitesi'nden fizikçi Alan Guth, geliştirdiği şişme kuramını,

yerçekimine karşı etki yapan itici bir skalar alan üzerine bina ediyor. Guth'un geliştirdiği senaryo şöyle: Evren henüz saniyenin 10^{35} yaşındayken bu skalar alanda meydana gelen kuantum dalgalanmaları, o anda bir protondan daha küçük olan evrenin boyutlarını, yine saniyenin trilyonda birinin trilyonda birinin trilyonda biri kadar bir süre içinde 100 basamak birden katladı (önce 2 katı, sonra $2 \times 2 = 4$ katı, daha sonra $4 \times 4 = 16$ katı gibi 100 basamak). Bu şişme, itici maddenin kararsız hale gelip sonunda şişmenin oluşturduğu enerjiyi madde ve ışınlıma dönüştürmesiyle sona erdi. Bu noktadan sonra evren genişlemesini çok daha ağır, ama günümüzde hızlandığını gözlediğimiz bir tempoda sürdürmeye başladı.

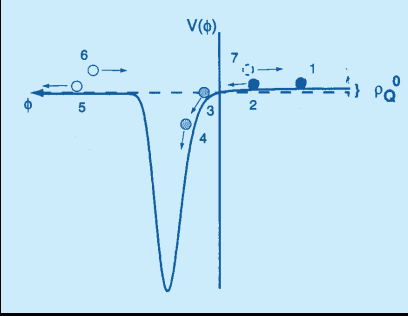
Guth'un bu modelinin, başta evrenin bugünkü durumunu açıklar görünmesine karşın, daha sonra bazı sorunların çıkması, kendisi de dahil olmak üzere başka kozmologların yeni yeni şişme modelleri geliştirmelerine yol açtı. Guth, ilk modelinde, itici kuvvetin egemen olduğu dönemden, ışınlımların egemen olduğu döneme geçilmesini sağlayan faz geçişini, suyun kaynamasına benzetmişti. Kaynayan suyun içinde oluşan köpükler gibi, Guth'un orijinal modelinde de evren, şişmenin ardından çarpışıp birleşme olanağı bulamayan köpüklerle (ya da baloncuklarla) dolmuştu.

Bu soruna ilk çözümü, 1981 yılında Andrei Linde ile Paul Steinhardt ve Andreas Albrecht, birbirlerinden bağımsız olarak geliştirdikleri modellerle getirdiler. Bu model, daha ağır işleyen bir faz geçişini temel alıyor ve köpükteki baloncuklar, giderek pelteleşen bir ortam içinde ortaya çıkıyorlardı. Bu süreç şişmeyi yavaşlatıp baloncuklara olağanüstü ölçeklere kadar büyüme olanağı sağlıyordu. Guth'a göre bu modelin doğru olması halinde öylesine büyük bir balon içinde yaşıyor olmamız gerekir ki, sınırlarını hiçbir zaman göremeyiz.

Daha sonra Steinhardt ve arkadaşları, faz geçişi senaryosu yerine skalar alanın değerinin değişmesine dayanan ve yeni enflasyon adını verdikleri bir şişme modeli geliştirdiler. Bu modelde itici skalar alan, başlangıçta tıpkı yokuşun başındaki bir top gibi yüksek bir potansiyel enerjiye sahipken, to-



Evrenin ilk dönemlerinde maddenin uzay zaman içindeki dağılımının evrimi. Bilgisayar simülasyonunda 75 megaparsek (yaklaşık 250.000.000 ışık yılı) genişliğindeki bir alanda gaz ve toz bulutlarının gökada kümelerini oluşturması izleniyor.



pun yuvarlanarak bir düzlükte durması gibi, en düşük enerji düzeyinde dengelenmek eğiliminde. Dolayısıyla, sistem denge noktasına doğru yol alırken, potansiyel enerjinin bir kısmı kinetik enerjiye, bu da sonunda şişme sürecini durduran ışıma dönüşüyor. Işınının bir bölümüyse daha sonra evreni dolduran maddeye dönüşüyor.

Linde'ye, daha sonra evrenin zorunlu olarak Büyük Patlama gibi sıcak ve yoğun bir dönemin ürünü olması gerektiğini reddederek, kaotik şişme denen bir model geliştirdi. Bu yaklaşıma göre, tümüyle rastlantısal olarak skalar alanın farklı farklı değerleri olabilir. Skalar alan, bazı yerlerde potansiyel enerjinin en alt düzeyi yakınlarında denge durumunda bulunurken, başka yerlerde daha fazla potansiyel enerjiye sahip olabilir. Enerjinin minimumda olduğu yerler şişmeye düz kalırken, potansiyel enerji fazlası olan yerler şişerek katlı biçimde genişleyebilir. 1980'li yıllardan beri kuramcılar, şişmenin yeni modellerini geliştirmeye devam ediyorlar. Açık şişme, iki aşamalı şişme, ya da farklı şişme modellerinin bileşimleri gibi...

Ek Boyutlarda Sörf

Daha önce şişme kuramcısıyken, zar evren modellerine transfer olan Steinhardt ve arkadaşlarının kafasını kurcalayansa, daha önce de değinildiği gibi, Büyük Patlama ve şişme sürecini içeren standart modelin, fizik yasalarının geçerliliğini yitirdiği bir tekillikten kaynaklanması. Steinhardt, Cambridge Üniversitesi'nden Neil Turok ile birlikte geçen yıl Yunanca'da ateşten doğma anlamına gelen "ekpyrosis" sözcüğünden esinlenerek ekpirotik evren adını verdikleri, sorunlarıyla birlikte Büyük Patlama ve şişmeyi de ortadan kaldıran bir model geliştirdiler. Gerçi bu modelde de evren bir



Süpersimetri ve sicim kuramları, tanıdığımız büyük ölçekli üç uzay boyutunun dışında, küçük, kıvrılmış boyutlar öngörüyor. Temsili resimde, Calabi-Yau manifoldları biçiminde katlanmış 6 ek boyutun uzay zamandaki yerleşimi gösteriliyor.

patlamadan ve ateşten doğuyor; ama bu patlama bir tekillikten kaynaklanmıyor. Patlamanın kaynağı, evrenimizin doğuşuna yol açan, çok boyutlu boşlukta yanyana duran iki büyük plakanın çarpışması!

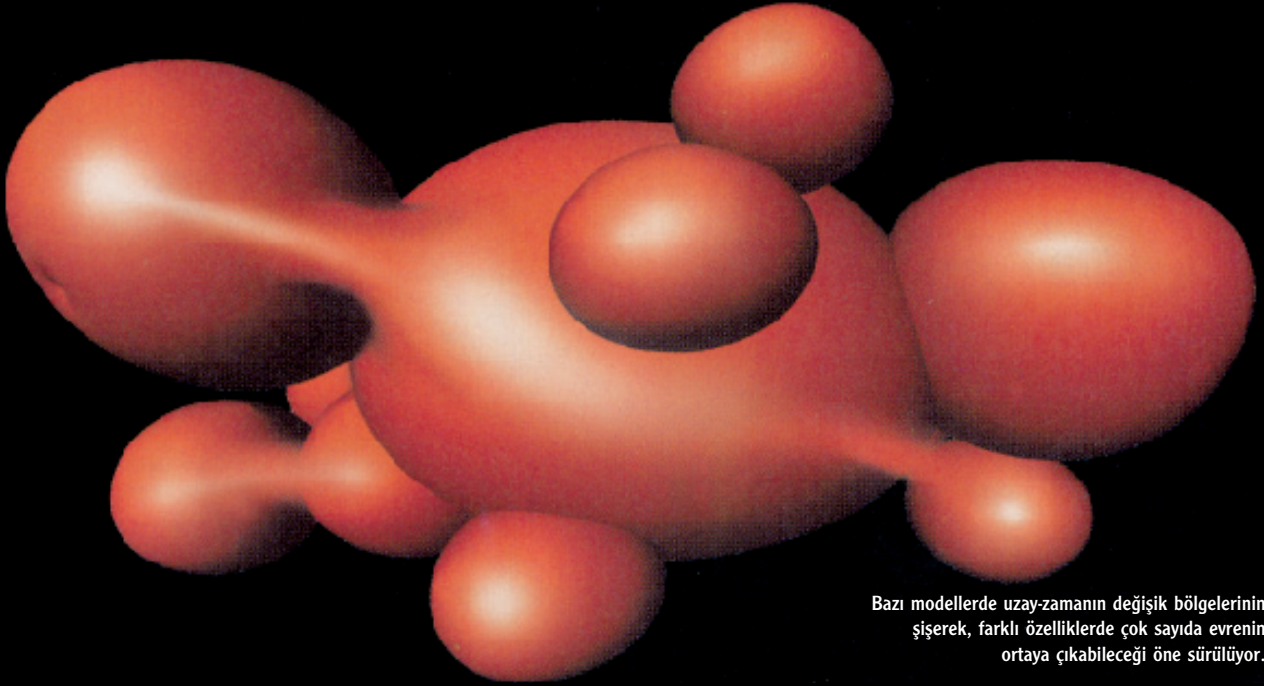
Daha sonra Steinhardt ve ekibi, ekpirotik evren modelini geliştirerek, yukarıda özetlediğimiz, çarpışmaların bir değil, sonsuza kadar tekrarlandığı, başlangıcı ve sonu olmayan bir döngüsel evrenler modelini oluşturdular.

Steinhardt, kendi modeline göre evrenimizin bugünden sonraki yol haritasını şöyle çiziyor: Standart modelde Büyük Patlama olarak tanımlanan

olaydan yaklaşık 14 milyar sonra, bugün evren, skalar alanın neredeyse sabit kaldığı ışıma -ve madde- egemenliğindeki dönemlerini geride bırakmış durumda. Bugün, potansiyel enerjisinin baskın hale gelerek, trilyonlarca yıl ya da daha fazla sürecek, ağır bir kozmik ivmelenme sürecinin başındayız (şekildeki 1. aşama). Bu süreç içinde evren, her Hubble hacmine yalnızca bir parçacık düşecek kadar genişlemiş olacak. Böylece evrende büyük patlamanın yarattığı maddenin, ışımanın ve karadeliklerin oluşturduğu entropi giderek azalacak, yüzeyindeki kırışıklıklar, buruşukluklar ortadan kalkacak ve düzgün, boş ve düz bir evren ortaya çıkacak. Daha sonra potansiyeldeki eğim, skalar alanın ters yöne doğru ağır ağır kaymasına neden olacak (şekilde 2). Ancak kozmik ivmelenme, potansiyel enerjinin sıfır noktası yakınlarına kadar sürecek (şekilde 3). Artık evren, skalar alanın kinetik enerjisinin egemenliğinde; ancak, genişleme bu enerjiyi zayıflatıyor. Sonunda toplam enerji (kinetik + negatif potansiyel) sıfırlanıyor ve evren bir an için statik duruma geçiyor. Daha sonra evrenin düzgün yoğunluğunda bozulmalar başlıyor. Skalar alan $-\infty$ 'a doğru yuvarlanmaya devam ettikçe, alanın kinetik enerjisi artıyor. Yani kütleçekim enerjisi, skalar alan kinetik enerjisine dönüşüyor. Böylece skalar alan potansiyel minimumundan geçiyor ve yaylanma (geriye dönüş) yaklaşırken, kinetik enerji giderek baskın hale geliyor (şekilde 5). Yaylanmadan ışıma ortaya çıkıyor ve evren genişleme-



En küçük ölçekte (Planck ölçeği) uzay-zamanın çok çalkantılı bir yapı kazanması, sicim kuramına kadar kütleçekimiyle öteki temel kuvvetleri özdeşleştirmemizi engelledi



Bazı modellerde uzay-zamanın değişik bölgelerinin şişerek, farklı özelliklerde çok sayıda evrenin ortaya çıkabileceği öne sürülüyor.

ye başlıyor. Önceleri skalar kinetik enerji yoğunluğu ışıma üstünlük sağlıyor (şekilde 6), ancak hemen ardından evren, ışımanın egemenliğine giriyor (şekilde 7). Skalar alanın hareketi hızla azalıyor ve böylece standart Büyük Patlama evrimi süresince (15

milyar yıl kadar) en yüksek değerine yakın bir yerde duruyor. Bundan sonra egemenlik, skalar alan potansiyel enerjisine geçiyor, alan ∞ 'a yuvarlanmaya başlıyor, bir sonraki büyük çöküş gerçekleşiyor ve döngü yeniden başlıyor.

Bağlı Boyutlar

Peki ama bu plakalar ya da zarlar ne? Bu fazladan boyutlar da nereden çıkıyor?

Steinhardt ve Turok, yeni modellerini, son yıllarda yeniden kuramsal fiziğin gözdeleleri arasına giren süpersi-

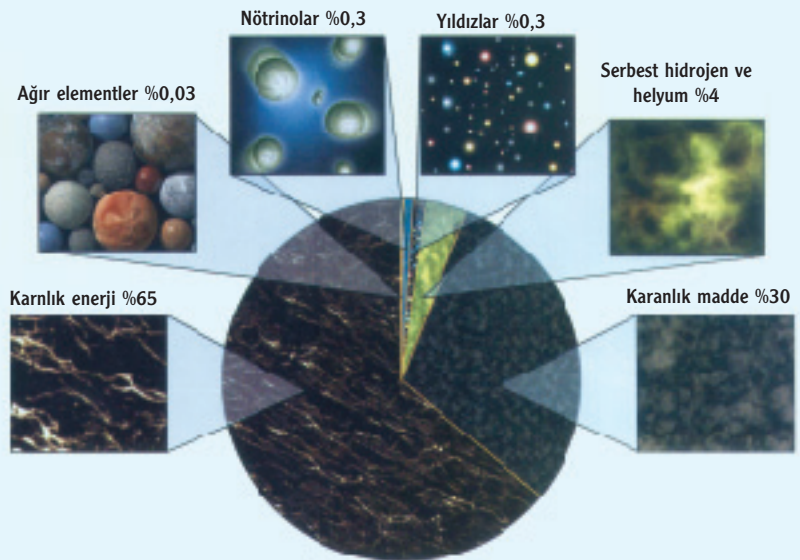
Bir Fosilin Anlattıkları

Büyük Patlama'dan sonraki ilk 300.000 yıl süresince evren, içinde madde parçacıkları ve ışınının bir arada bulunduğu opak bir plazma çorbası halindedeydi. Işık, bu sıcak çorbadan kaçamıyordu; çünkü fotonlar serbest elektronlara çarparak saçılıyorlardı. Ancak evren yeterince soğuduğunda elektronlar atom çekirdeklerine bağlandılar ve önlerindeki engel kalkan fotonlar uzay boşluğuna saçıldılar. Gama ışınları biçiminde çıkan bu ilk ışıma, evrenin genişlemesi sonunda kırmızıya kayarak bugün evrenin her tarafını dolduran, elektromanyetik tayfın mikrodalga bölgesinde 2.7 K sıcaklığa karşılık gelen bir fosil ışıma halini almış durumda. Mikrodalga fon ışımasını üzerinde son 20 yıldır yapılan gözlemler, evrenin ilk dönemleri konusunda yararlı bilgiler sağladı. Kozmik Fon Araştırmacısı (COBE) uydusunun bu fosil ışıma üzerinde belirlediği yoğunluk farkları, önce Büyük Patlama kuramının geçerliliğini kanıtladı. Daha sonra da, yerden balonlarla ve özel teleskoplarla yapılan daha duyarlı gözlemler, fon ışımaında bir derecenin 10.000'de biri ölçeğine kadar sıcaklık farkları belirlendiler ve bunların madde yoğunluğundaki farklara karşılık geldiğini saptadılar. Bu farklar, evrenin il evrelerinde madde yoğunluk farklarından ortaya çıkan ve akustik salınımlar biçiminde kendini gösteren ses dalgalarının varlığını gösteriyor. Bu salınımların büyüklüğü, Büyük Patlama'nın ilk anında ortaya çıkan kuantum dalgalanmalarının, ancak bir şişme süreciyle şimdi gözlenen

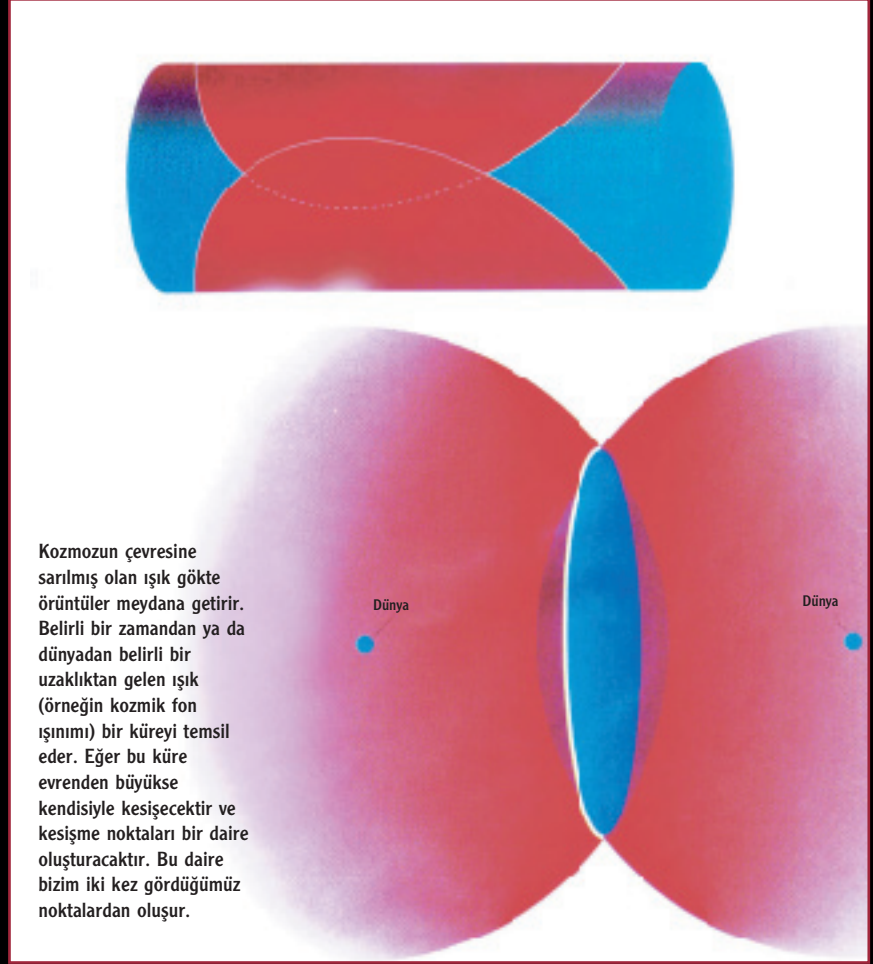
boyutlarına ulaşmış olabileceğini gösteriyor. Ayrıca, gözlemler sıcaklık farklarının, gökyüzünde birbirlerinden 1 derece farkla ayrılmış olan yapılarda en yüksek noktasına ulaştığını ortaya koydu. Bu da, yapılan hesaplara göre, evrenin düz bir geometriye sahip olduğunu gösteriyor. Fosil ışıma içindeki ses

dalgalarının harmonik dizilimi, evrenin içeriğine de ışık tutuyor. Veriler, evrendeki tanınan maddenin, toplam enerji yoğunluğu içindeki payının %4, karanlık madde dahil tüm maddenin payının yüzde 35, itici karanlık enerjinin payının %65 olduğunu ortaya koyuyor.

Kozmosdaki Madde ve Enerji Türleri



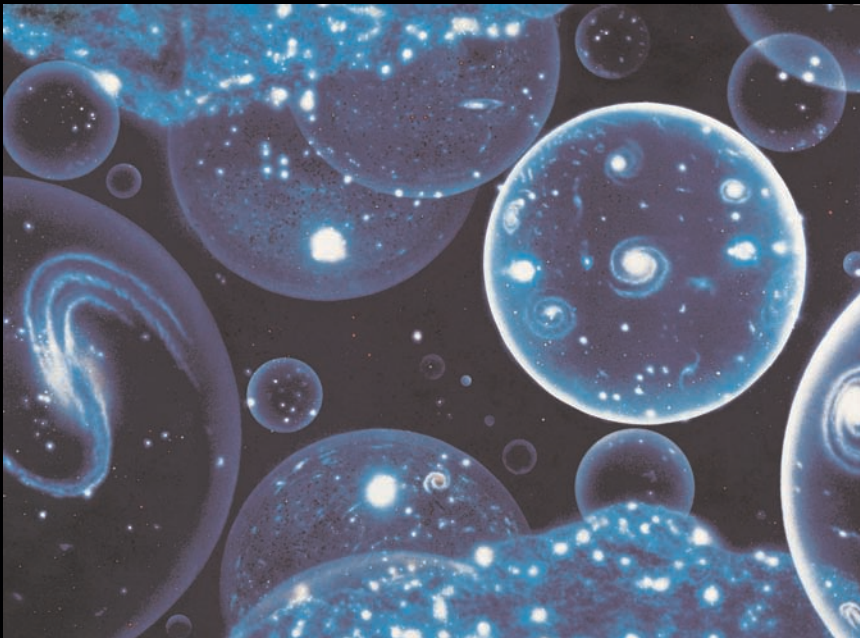
cim kuramının son hali olan M-kuramına dayandırıyorlar. (Bkz: Yeni Ufuklara - Sicim Kuramı) Doğa kuvvetlerinden şiddetli çekirdek kuvveti, zayıf çekirdek kuvveti ve elektromanyetik kuvvetin etkileşimlerini kuantum mekaniğiyle açıklayan standart model, bildiğimiz parçacıkları noktasal varlıklar olarak tanımlar. Kozmolojik ölçekte etkileşen ve Einstein'ın genel görelilik kuramınca açıklanan kütleçekiminiyse açıklayamaz. Atomaltı ölçeklerdeki çekirdek kuvvetleriyle, kütleçekimini özdeşleştirebilme iddiasında olan süpersicim kuramına göre parçacıklar, sıfır boyutlu noktasal varlıklar değil, çok küçük de olsa (10^{-35} m) uzamış, bir boyutlu (çizgi), iki boyutlu (zar) ya da üç boyutlu yapılar olarak tanımlanır. Tanıdığımız ve tanımadığımız parçacıklar da bu açık ya da kapalı "sicim"lerin titreşim biçimlerine göre kimlik alırlar. Süpersicim ve sonraki versiyonu olan M-kuramı, birbiriyle bağdaşmayan kuvvetleri taşıyan parçacıklarla (bozon), bunların etkilediği madde parçacıklarını (fermiyon) özdeşleştirecek simetriyi kurabilmek için, her iki türden parçacıkların, karşı türden eş parçacıkları olması gerektiğini öne sürüyor. Ancak kuram, bu parçacıkların varlığı için, tanıdığımız dört boyutun (üç uzay boyutu ve zaman) dışında ilave boyutların varlığını da temel alıyor. Süpersicim ve M-kuramlarını oluşturan fizikçiler, bu ek boyutlardan altısının sicimler içinde akıl almaz küçüklükte yapılar halinde



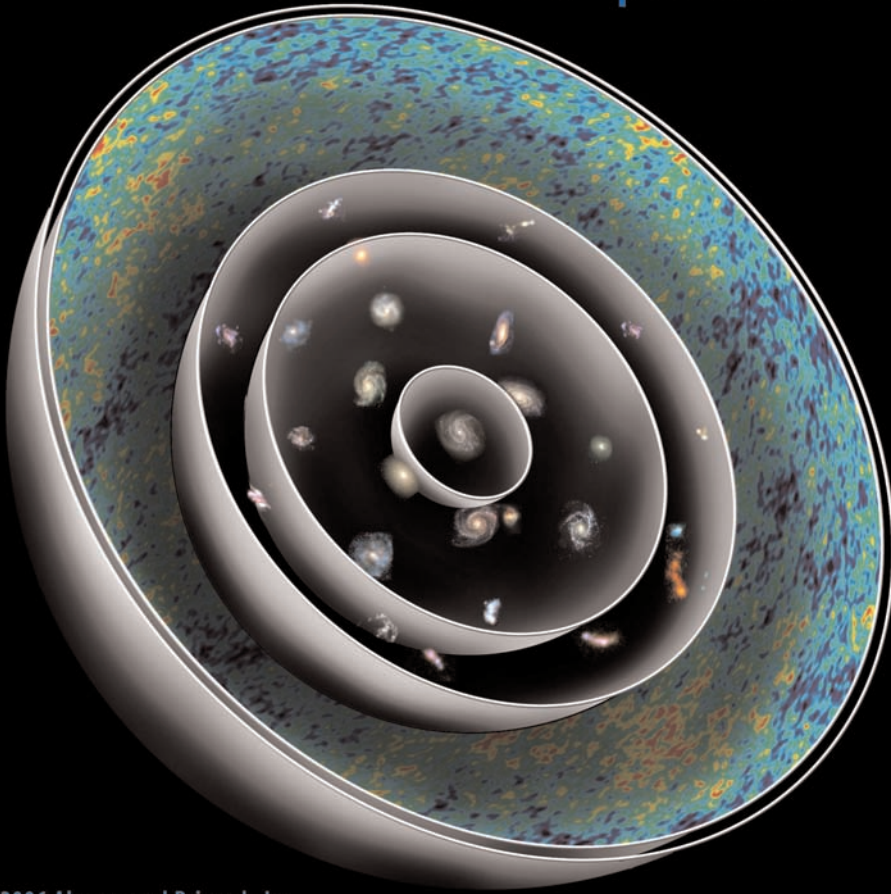
bir arada kıvrılmış olduğunu düşünüyorlar. Başkalarına göreyse, bu kadar küçük olmaları gerekmiyor. Bütün bunlar, ister kıvrık, ister açık, ister bir arada, ister ayrı olsunlar, bir "kütle uzayı" (bulk space) denen boşlukta etkileşiyorlar. M-kuramına dayalı koz-

molojik modellerse, bu uzay içinde bizim tanıdığımız üç uzay boyutlu zar evrenler olduğunu öne sürüyorlar. Çünkü sicim kuramının çıkarsamalarına göre madde ve boyutlar zarlara hapsedilebilir. Ayrıca zarlar enerji (gerilim) taşırlar. Yani, kütle uzayda ne kadar boyut olursa olsun, yalnızca bizim tanıdığımız büyük ölçekli üç uzay boyutuna sahip zarlar (ya da evrenler) olabilir. Böyle bir üç boyutlu zara yapışan bir foton, fazladan boyutları inceleyemez. Dolayısıyla bu üç uzay + 1 zaman boyutlu, yani bizimki gibi dört boyutlu evrenlerde, kütleçekimi dışındaki kuvvetler, öteki boyutları hissetmiyorlar, bunlara etki yapmıyorlar ve bunlardan etkilenmiyorlar. Bir başka deyişle, üzerlerinde bulunan zara bağlı durumdalar. Dolayısıyla bunlara "sınır zarlar" da deniyor (boundary branes).

Ancak öteki kuvvetleri dört boyutlu (3 uzay + 1 zaman) zara bağlayan mekanizma, kütleçekimi için işlemiyor. Çünkü kütleçekimi, tanımı gereği kütle içinde, yani uzay-zamanın tümü içinde bulunmak zorunda.



Cosmic Spheres of Time



2006 Abrams and Primack, Inc.

Daha Büyük Patlama'nın, sonsuz küçüklükte bir noktacığ, 200 milyar gökadayı çevirmesini, şişmenin, evreni ışığından çok daha büyük bir hızla akıl almaz boyutlara genişletmesini zihninizde canlandırmakta güçlük çekerken, bu yeni evren modelleri, üç boyutlu zarlar aklımızı biraz daha zorluyor. Ama önerilen modelleri daha iyi kavrayabilmek için, üzerinde durdukları temelleri biraz daha yakından tanımak gerekiyor.

Daha önce maddenin ve boyutların zarlara hapsedilebileceğini görmüştük. Çok boyutlu kütle uzayda dört boyutlu (3 uzay + 1 zaman) bir zarın bulunabilmesi için bunların gerilim taşıması gerektiği de belirtildi. Önemli bir gereksinim de, kütle uzayda, zar üzerindeki gerilimle ayarlı itici bir negatif boşluk enerjisi bulunması. Hatta bazı kuramlara göre kütleçekimi de "tuzaklanabilir" – ya da en azından tuzığa düşmüş gibi davranabilir.

Ayrıca, Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos ve G. Dvali adlı fizikçiler kısaca ADD modeli diye adlandırılan

Sayıların Dili

İş kuramcılara kaldı mı, evren biçimlerinin hadi hesabı yok. Dört boyutlusu da var, 11 boyutlusu da, 25 boyutlusu da. Ancak biz bir tanesini tanıyoruz. Belki de henüz yalnızca bir köşesini demek daha doğru olur. Bizim görebildiğimiz boyutlar da yalnızca dört tane. Bu durumda her biri milyarlarca yıldız ve kat kat fazla kütlede karanlık madde içeren 200 milyar kadar gökadedan oluştuğu düşünülen evrenimizin, öyle vitrine konacak hali yok gibi görünüyor. Ancak, İngiltere'nin Kraliyet Başastronomu (bizim eski başmabeyinciye karşılık geliyor) Sir Martin Rees aynı kanıda değil.

Rees fazla konuşkan olmayan biri. Nedenleri uzun uzun sıralamak yerine, yalnızca altı rakam veriyor:

Bir helyum atomunun çekirdeği, birleşip kendisini oluşturan iki proton ve iki nötronun toplam ağırlığının %99,3'ü kadar. Yani, çekirdeği oluşturan parçacıkların kütlelerinin %0,7'si ısı olarak salınıyor. Helyum, yıldızların sıcak merkezinde muazzam sıcaklık ve basıncın tetiklediği termonükleer tepkimelerle birleşen hidrojen çekirdeklerince oluşturuluyor. Yani hidrojen atomları birleştiklerinde kütlelerinin 0,007'sini enerjiye dönüştürüyorlar. Bu sayı, ϵ bir atom çekirdeği içindeki parçacıkları birbirine yapıştıran kuvvetin (şiddetli çekirdek kuvveti) gücünün bir türü.

Peki bu niye bu kadar önemli? Bu sayı birazcık daha küçük, örneğin 0,006 olsaydı, bir nötron, protona (hidrojen çekirdeği) bağlanamaz ve evren yalnızca hidrojen oluşurdu. Anlamı: Ne kimya dediğimiz süreç, ne de yaşamın varlığı. Tersine,

0,008 olsaydı, bu kez Büyük Patlama'da muazzam ölçülerde üretilen hidrojen tek bir atom bile geriye kalmazdı. Yine sonuç: Ne Güneş Sistemi, ne de yaşam...

Öteki sayılarsa şunlar: 10^{36} . Bu sayı da atomları bir arada tutan kuvvetlerin gücünün, aralarındaki kütleçekim kuvvetine bölünmesiyle elde ediliyor. Anlamı, kütleçekimin, atomlar arasındaki çekime kıyasla çok daha zayıf olduğu. Sayı bundan biraz daha küçük olsaydı, ancak çok kısa ömürlü, küçük bir evren ortaya çıkardı.

Omega Ω : Evrende gökadalar, gaz, karanlık madde dahil tüm maddenin yoğunluğunu gösteren

bir parametre. Genişleyen bir evrende kütleçekiminin göreceli etkisini gösteriyor. Kütleçekimi biraz daha güçlü olsa evren kendi üstüne çöker; biraz daha zayıf olsa hiçbir yıldız ve gökada oluşamazdı.

Lambda λ : 1998'de keşfedilen, evrenin genişlemesini yöneten kozmik bir itici güç. Neyse ki değeri oldukça küçük ve bir milyar ışıktan daha küçük yapılar üzerinde gözlemlenebilir bir etkisi yok. Ama biraz daha güçlü olsaydı, yıldızlar, gökadalar ve yaşam ortaya çıkamazdı.

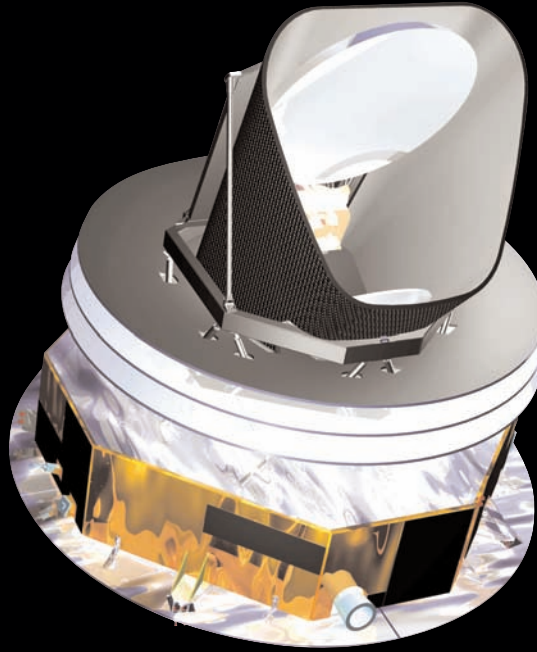
Q: Genişleyen evrende gezegenler ya da gökadalar gibi yapıların oluşmasını tetikleyen düzensizliklerin genliği. Oranı 1/100.000. Oran biraz daha küçük olsaydı evren, içinde yaşam olmayan bir gaz bulutundan başka bir şey olmazdı. Buna karşılık biraz daha büyük olsaydı, evrendeki maddenin büyük kısmı dev karadeliklere yem olurdu.

D: Evrenimizdeki uzay boyutlarının sayısı. Bildiğimiz gibi bunların sayısı 3. Eğer 2 ya da 4 olsaydı, Rees'e göre yaşam varolamazdı.

Aslında Rees'in söylemek istediği açık. Yalnızca tek bir evren olduğunu varsaymak, canlı bir tür olarak kendimize fazla önem vermek olurdu. Dolayısıyla uzay-zamanda pek çok evren bulunabilir. Ancak, bu sayısız olası evren içinde varlığını sürdürebilen kardeşlerimiz, ancak yaşama olanak verecek kadar "ince ayar" geçirmiş olanlar. Rees'in dışında "insancıl ilke" (anthropic principle) denen bu modelin, aralarında Max Tegmark gibi genç "yıldızların" da bulunduğu savunucuları olsa da, kozmologların çoğu bu görüşe "teolojik motifler içerdiği" gerekçesiyle karşı çıkıyor.



bir modelde, fazladan boyutların çaplarının Planck Ölçeği (10^{33} m) değil de çok büyük, örneğin 1 mm kadar olması halinde, hiçbir ek parçacık ya da kuvvete gereksinim kalmadan evrenle ilgili tüm gözlemlerin geçerli olacağını öne sürdüler. Bu durumda yalnızca beş boyutlu (4 uzay + 1 zaman) bir kütle uzayı içinde bile zar evrenlerin bulunması mümkün. Böyle bir kütle uzayda, kütleçekimi taşıdığı düşünülen parçacık olan graviton, beş boyutu hissedecektir. Ancak bu beş boyutlu gravitonun, zar üzerinde yoğunlaşmış ve yalnızca dört boyutu hissediyormuş gibi davranan bir bağlı biçimi de olacaktır. Kütleçekiminin milimetrik, hatta sınırsız boyutta olabileceği, ancak, dört boyutlu "zar evren" üzerinde yoğunlaşacağı benzer bir model de Harvard Üniversitesi'nden Lisa Randall tarafından öneriliyor. Böyle bir geometride, metrenin uzunluğu bulunduğu yere göre



değişecektir. Evrenin düz olmasına karşın uzay-zaman bükülmüş görünecektir. Çünkü kütleçekimsel bağlanmanın şiddetinin her tarafta aynı olmasına karşılık, fiziki kütle ölçekleri zar evrenden uzaklaştıkça katlı biçimde azalacak; böylece zarın uzaklarında kütleçekimi zayıf gibi algılanacaktır.

Kütleçekiminin farklı davranış yeteneği ve zar üzerinde yoğunlaşmasının ilginç başka kozmolojik sonuçları da var. Örneğin, bir zar modelinde gravitonun dört boyutlu bir biçim alması nedeniyle zarın yüzeyi ve yakınları dört boyutlu görünüyor. Ancak kütle uzayın büyük kısmı bu moddaki gravitonla etkileşmediğinden, buralarda bulunan canlılar beş boyutlu bir evren algılayacaktır. Bu düşünceye göre uzay-zaman içerisinde bizler, pek çok başkalarının olduğu gibi bir "kütleçekim adası"yız. Biz, kozmolojik ölçekteki gözlemlerle bile uzayın çok küçük bir kısmını görebiliyoruz, ve gördüğümüz yerin dört boyutlu olması da, bulunduğumuz yerin yol açtığı bir rastlantı. Uzayın geri kalan kısmı beş, hatta on boyutlu olabilir, ama bunu hiçbir zaman bilmeyebiliriz.

Kim Haklı?

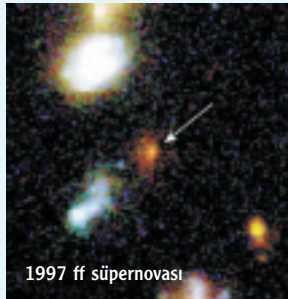
Uzak gökadalardaki süpernova patlamaları üzerinde yapılan duyarlı incelemeler, kozmologlara göre evrenin giderek ivmelenen bir biçimde genişlediğini kuşkuya yer bırakmayacak biçimde ortaya koyuyor. Peki genişleme hangi hızda gerçekleşiyor? Sonuçlar pek net değil, ve biraz da çelişkili. Uzak süpernovalar giderek artan bir ivmelenmeyi gösterirken, evrenden yayılan ilk ışığın fosili olan kozmik mikrodalga fon ışıınımı üzerinde yapılan duyarlı gözlemler de, evrenin düz bir geometride olduğunu gösteriyor. Bu da şişme kuramcılarının kendi tezlerinin doğruluğuna bir kanıt olarak sunuluyor. Çünkü evrenin yapısındaki büyük çaplı düzensizlikler ancak, başlangıçta ortaya çıkan kuantum dalgalanmalarının, kütleçekim dengesizliklerinin yola çıktığı şişmeyle bugünkü boyutlarına taşınmasıyla oluşabilir.

Ama gördüğümüz gibi, zar evren kuramcıları, bu düzensiz yapıya farklı açıklamalar da getirebiliyorlar.

Şimdilik ortalık toz duman. Eldeki veriler her iki tarafa da hak verdirecek kadar belirsiz. Ancak daha güçlü uydular, sondalar, teleskoplar uzayda yeni gözlem yerlerini aldılar ve yeni işaretlere bakıyorlar. Bunlardan biri mikrodalga fon ışıınımını daha duyarlı biçimde gözlemek üzere yerini almış

Hızlanan Genişleme

Kozmologlar, evrenimizin artan bir hızla genişlediğini nereden biliyorlar? Yanıt: Ölen yıldızların verdiği mesajlardan. Süpernova patlamaları, normalde Güneş'ten çok daha büyük kütleli yıldızların kısa ömürlerini noktalayan bir son. Ancak süpernovaların Ia türü denen bir çeşidi var ki, Güneş kütleindeki yıldızların dolaylı bir ürünü. Kütleli Güneş'inki kadar olan yıldızlar, yakıtlarını tükettikten sonra bir patlama yerine, dış katmanlarını sakın bir biçimde uzaya savururlar; sıkışan merkezleri, yaklaşık Dünya boyutlarında bir "beyaz cüce" halinde açığa çıkar ve yavaş yavaş soğur. Ancak, ikili yıldız sistemlerinde bazen bir beyaz cüce, henüz genç olan eşinden kütle çalmaya başlar. Beyaz cücenin kazanabileceği kütle, Chandrasekhar limiti denen bir üst sınırı vardır. Cücenin kütleli 1,4 Güneş kütleini aştığında, zincirleme bir nükleer tepkime sonucu yıldız patlayarak tümüyle yok olur. Bu tür süpernovaların özelliği, yaydıkları ışıınının hep aynı şiddette olması. Dolayısıyla gökbilimciler, bunların görünür parlaklıklarına bakarak uzaklıklarını hesaplıyorlar. Parlaklık ne kadar azalırsa, süpernova ve içinde bulunduğu gökada o kadar uzakta demektir. İyi de, hızlanmayı nasıl belirleyeceğiz? 1988 yılında 10,7 milyar ışık yılı uzaklıkta belirlenen bir Ia süpernova, bu sorunu çözdü. Dünya'ya belirli bir uzaklıkta



olan Ia süpernovaların görünür parlaklıkları, olması gerekenden biraz daha düşük çıkıyor, ve bu evrenin genişlediğine işaret ediyordu. Ancak evrenin hızlanan genişlemesini kabul etmeyenler, gözlenen solukluğun aradaki toz bulutlarından kaynaklanabileceğini öne sürdüler. Haklı gibi görünen bu eleştiri nasıl çürütüldü? Dikkatlerden kaçan küçük bir noktayla. Giderek hızlanan bir tempoyla genişleyen bir evrende bile, geçmişte ilk genişlemenin kütleçekim etkisiyle yavaşladığı bir dönem olacaktır. Bizim evrenimizde itici "karanlık enerji"nin madde yoğunluğuna üstün gelmesi, son 1-1,5 milyar yılın olayı. Bu

nedenle kozmologlar, belirli bir uzaklığın ötesindeki süpernovaların ışığının toz perdelenmesiyle mi, yoksa ivmelenen genişlemeyle mi soluklaştığını ayırdedebiliyorlar. Eğer süpernovaları soluklaştıran aradaki toza, daha uzakta olanların ışığı daha çok toz bulutundan geçeceği için, daha soluk görünmeli.

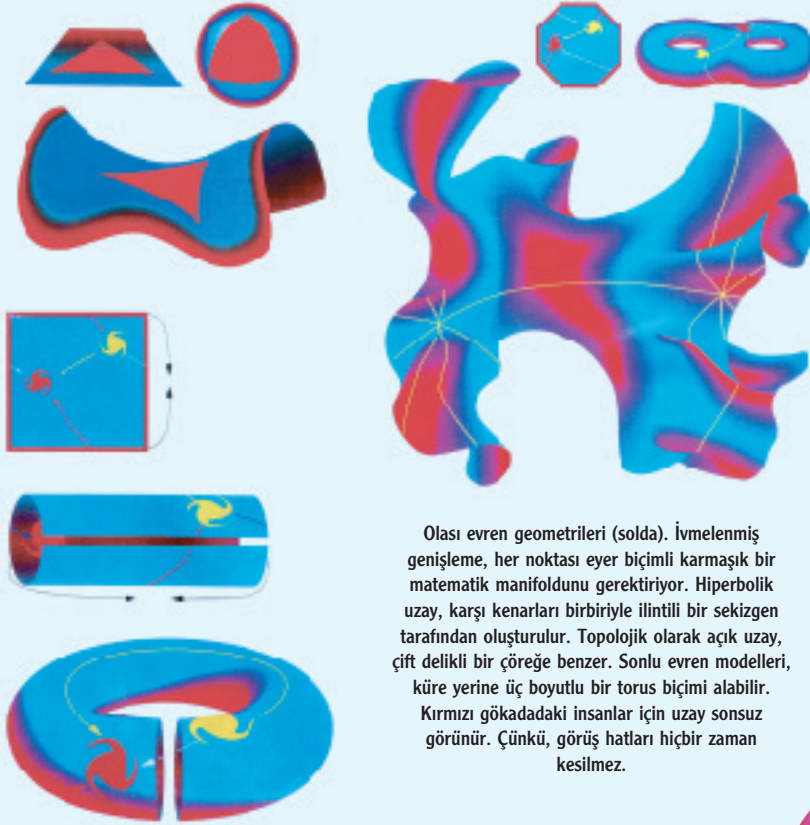
Ama eğer genişlemesi hızlanan bir evrende yaşıyorsak, yaklaşık 10 milyar ışık yılından daha uzak (dolayısıyla ışıkları hâlâ kütleçekiminin genişlemeyi frenlediği dönemde yola çıkmış) süpernovaların, beklenenden daha parlak görünmeleri beklenir. 1997ff süpernovasının ışığı da bu beklentileri doğrularak evrenin hızlanan genişlemesine kanıt oluşturdu.

Evren neden düz?

Evrenin geometrisi, madenin toplam yoğunluğuna bağlı olarak üç biçimden birini alabilir. Eğer yoğunluk kritik kütle deneni bir ölçüye karşılık gelirse, evren genişler ve düz bir geometrik biçim alır. Yoğunluk kritik değerin üzerindeyse, evren kendi üzerine çökecek olan kapalı (küresel) bir biçim alır. Yoğunluğun kritik değerin altında olması halindeyse açık olarak tanımlanan evrenin biçimi, bir eğrinin yüzeyini andırır. Evrenin yoğunluğunu belirlemek üzere çeşitli dalga boylarında yapılan gözlemler, düz bir geometriye işaret ediyor. Ayrıca şişme sürecinin, evrenin homojen, küçük bir bölgesini, eğrilik düzelinceye kadar büyümesi nedeniyle de düz bir geometrinin ortaya



çıkması gerekiyor. Bu, küçük bir kürenin yüzeyinin, olağanüstü büyüklüğe eriştiğinde eğriliğin gözle görülemeyecek kadar küçülmesi anlamını taşıyor. Gökbilimcilere göre mikrodalga fon ışınımında gözlenen yapıların büyüklük spektrumu da düz bir evren düşüncesini destekler görünüyor. Ancak matematikte giderek gelişen bir dal olan topolojinin çözümleri, düz bir evrenin kağıt gibi düz olmayabileceğini, çeşitli farklı biçimlerde, örneğin bir simit (torus) biçiminde de kıvrılmış olabileceğini gösteriyor. Evrenin geometrisi henüz kesin olarak belirlenebilmiş değil. İlerideki daha duyarlı gözlemlerin bu bilinmeye ışık tutması bekleniyor.



olan MAP (Mikrodalga Anizotropi Sondası). MAP ve 2007 yılında uzaya fırlatılacak Planck uydusunun hedeflerinden biri de, Einstein'ın kuramına göre evrende bulunması gereken kütleçekim dalgalarını yakalayabilmek. Kütleçekim dalgaları, karadelikler ya da nötron yıldızları gibi büyük kütleli cisimlerin çarpışmasından da kaynaklanıyor; ama MAP ve Planck'ın arayacakları, Büyük Patlama'dan kaynakla-

nan kütleçekim dalgaları. Bunlar evrenin ilk anları hakkında daha sağlıklı bilgiler verip rakip kuramların sınanmasına olanak sağlayacak. Ancak, Büyük Patlama'nın yol açtığı kütleçekim dalgalarının boyları da evrenin boyutları kadar olduğundan ve bunları saptamak için de evren boyutunda araçlar gerekti-

ğinden, uydular bunları, mikrodalga fonu üzerinde yol açtığı dolaylı etkileriyle incelemeye çalışacaklar.

Evrenimizin, bir sonraki sil-başta-na daha en azından trilyonlarca yıl zamanı var. Bizimse fazla zamanımız yok. Güneşimiz gerçi daha birkaç milyar yıl ışıyacak, ama insanlığın o kadar yıl ayakta kalacağı şüpheli. Neyse ki, evrenin hızlanışına paralel olarak bilgi birikimimiz de hızlanıyor. Gerçi yeni bilgilerle kafamız biraz daha karışıyor; ama artık can alıcı soruları yanıtlamaya yakınız gibi. Binlerce yıl merak ettik, düşündük. Evrenimizi kaplumbağa sırtlarından, çok farklı yerlere taşıdık. İçeriği hakkında çok şey öğrendik. Ancak temel sorunlar hâlâ yanıtlanmadı. Ne zaman, nasıl ortaya çıktı, neden yapı, ne olacak? Yanıtların en az bazılarına yakın olmak heyecan verici. Belki yanıt, bunların hiçbirini öğrenemeyeceğimiz, bir başlangıç ya da son olmadığı, evrenin de bakana ve baktığı yere göre değişebileceği şeklinde olacak. Ola ki, yeni gözlemler, yeni kuramlar gerekecek. Olsun. Gezeganimiz de bir Büyük Patlama, bir sil-başta-yaşamazsa, belki herşeyi değil, ama pek çok şeyi öğrenmemize çok fazla kalmadı.

Raşit Gürdilek

- Kaynaklar**
Randal, L., "Extra Dimensions and Warped Geometries" Science, 24 Mayıs 2002
Steinhardt, P. J., Turok, N., "A Cyclic Model of the Universe" Science, 24 Mayıs 2002
Seife, C., "Eternal-Universe Idea Comes Full Circle", Science, 26 Nisan 2002
Nadis, S., "Cosmic Inflation Comes of age", Astronomy, Nisan 2002
Livio, M., "Moving Right Along", Astronomy, Temmuz 2002
Lemley, B., "Why is There Life?", Discover, Kasım 2000

