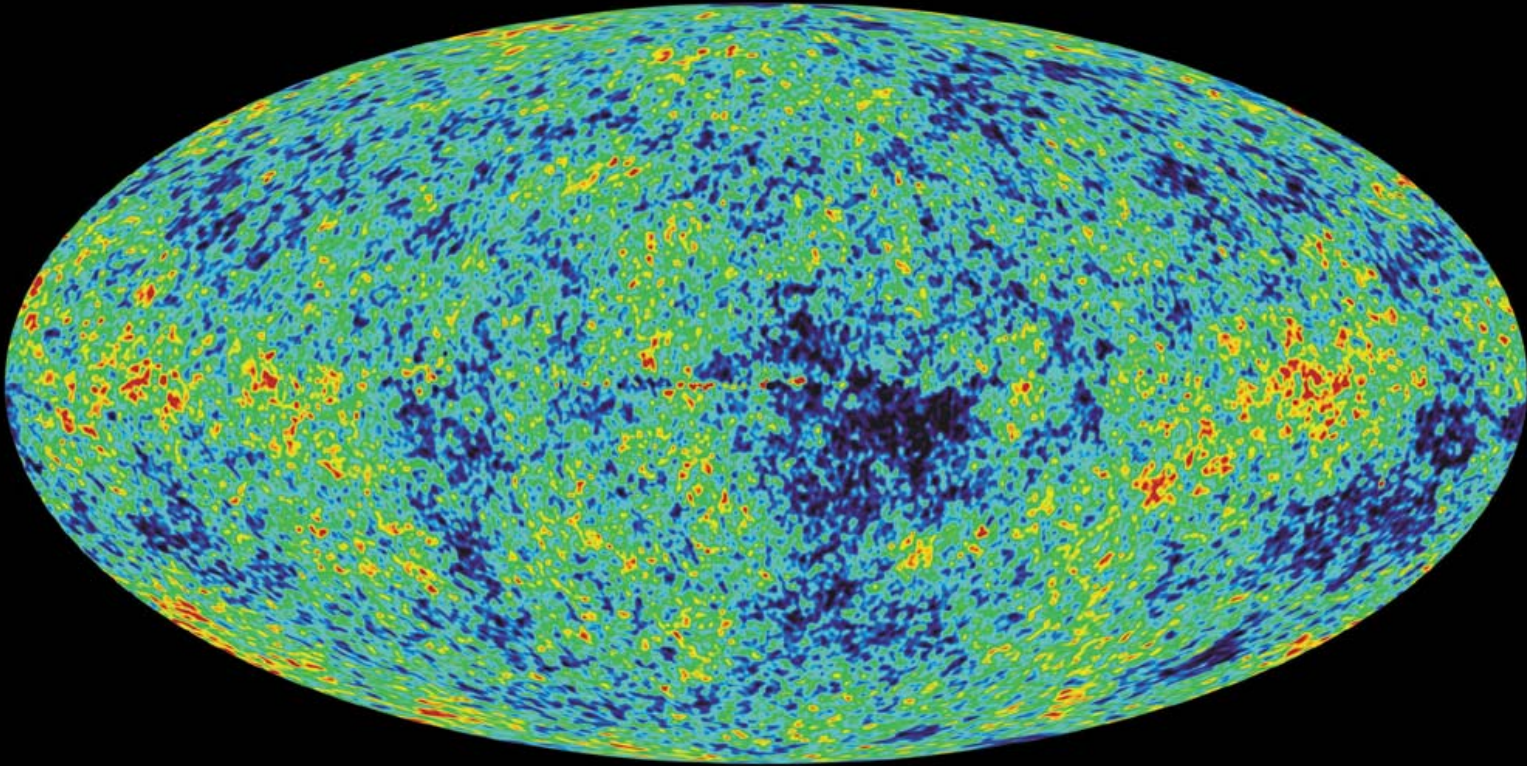


KARANLIK EVREN

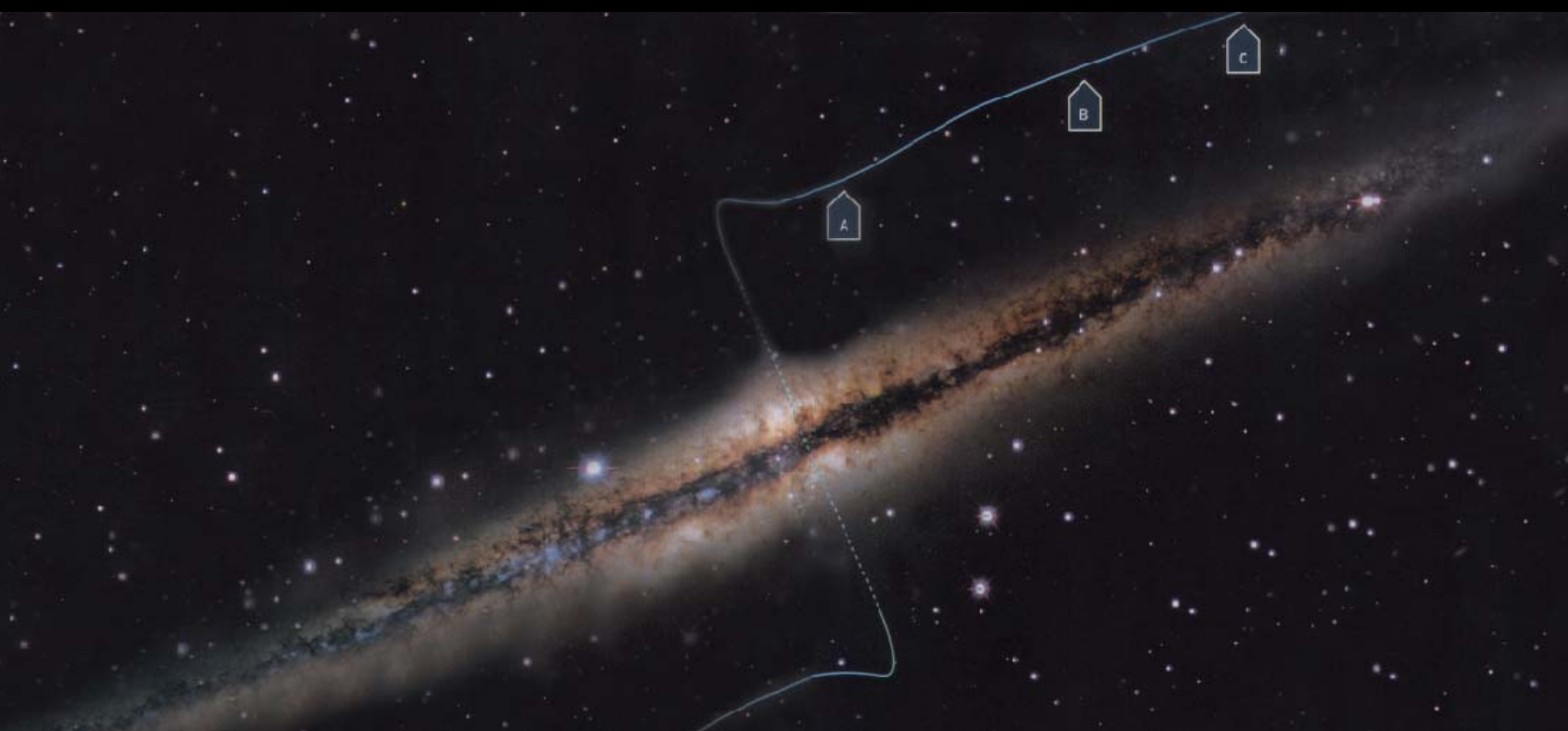


Geçtiğimiz yıl uzaydan bir mesaj aldık. Ayın berisindeki park yerinden uzun süre derin uzayı gözleyen Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Sondası (WMAP) adlı araç, paha biçilmez bilgilerden oluşan yükünü boşalttı. WMAP, sayıları giderek artan uzay teleskopları gibi karanlıkta ışılan cisimleri, yıldızları, gökadalaları, gökada kümelerini, dev kütleli karadeliğin çevrelerinden gelen güçlü ışınımı gözlemedi. Onların aksine karanlığa baktı. İzlediği karanlıkta, aslında evrenin ilk ışığı. Büyük Patlama'dan yaklaşık 300.000 yıl sonra atom çekirdeklerinin serbest elektronlarla birleşmesi sonucu bunlarla çarpışıp saçılan fotonların, kendilerini ilk kez o sıcak, yoğun ve karanlık bir kazan olan evrenden dışarı attıkları an. Genişleyen ve

soğuyan evren nedeniyle bu ışınım, yola çıktıktan yaklaşık 13,5 milyar yıl sonra, elektromanyetik tayfın düşük enerjili bölgesine kaymış durumda. Ancak yalnızca 2,7 Kelvin (-270°C) sıcaklığa karşı gelen enerjide tüm evreni dolduran bu fosil fotonlar, evrenin geçmişi, yapısı ve geleceği konusunda bize en ayrıntılı bilgileri verdiler. Aynı zamanda da en şaşırtıcı olanları. Yaşından başlayalım. Evren bugün 13,7 milyar yaşında. Ne kadar yaşayacağı da genişlemesinin hızına bağlı. WMAP, duyarlı algılayıcılarıyla mikrodalga fon ışınımı üzerinde 1 derecenin 100.000'de biri ölçeğindeki sıcaklık farklarını ölçtü. Bu sıcaklık (yani yoğunluk) farklarının fon üzerinde irili ufaklı yapılar oluşturduğunu belirledi. Bu yapıların en

büyüklerinin ölçeklerinin, kendi gözlem yerinden bakıldığında 1 derece olduğunu saptadı. Bu, ölçümle çok önemli bir sonuçta, evrenin kritik hızla genişleyen düz geometride bir evren olduğu sonucuna ulaştı. Bu kozmolojinin standart modeline damgasını vuran şişme kuramının geçerliliğini doğruluyor ve düz geometriyi açıklıyor. Şişme kuramı, büyük patlamanın hemen ardından saniyenin çok küçük bir kesirinde evrenin ışık hızının üzerinde bir hızla, yüzeyindeki eğrilik düz bir çizgiymiş gibi görünecek bir boyuta çıktığını ve madde ile enerjinin bu yüzey üzerinde daha yavaş ilerleyerek "görünür evren"i oluşturduğunu söylüyor.

WMAP fosil ışınım içinde çok daha şaşırtıcı mesajlar da okudu, Fon üzerindeki



Andromeda takımyıldızında bulunan, 30 milyon ışık yılı uzaklıktaki NGC 891 adlı gökadamadaki tüm yıldızlar merkezin çevresinde dolanırlar. Mavi çizgi, yörünge hızının uzaklığa oranı olan dönüş eğrisini gösteriyor. Hızlar iç bölgede (A) tahmin edilebileceği gibi yüksek. Merkezden biraz uzaklaştıkça (B) hızlar da düşüyor. Bu bölgede gökadanın kütlesi azalıyor, ve dönüş eğrisi neredeyse gökadanın görünür bölgesinin sonuna kadar (C) düz olarak gidiyor. Eğer gökadamadaki maddenin dağılımı, ışığın dağılımı gibi olsaydı, yani merkezde yoğunlaşıp kanatlarda seyrelseydi, dış bölgelerdeki yörünge hızlarının önemli ölçüde azalması gerekirdi. Ancak, sürpriz bir biçimde yörünge hızları kenar bölgelerde oldukça yüksek. Öylesine yüksek ki buradaki yıldızların gökada dışına savrulması gerekirdi. Araştırmacıların yargısı: Bir görünmez madde bulutu gökadayı çevreliyip yıldızları yerlerinde tutuyor. Aynı dönüş sistemi, Samanyolu dahil evrendeki tüm sarmal gökadalarda izleniyor.

yapı farklarının bir müzik parçasının armonisi gibi giderek alçalan bir set oluşturduğunu farketti. Bu set, aslında genç evrene Büyük Patlama'dan miras ses (yani basınç) dalgaları. Bir göle atılan taşın oluşturduğu daireler gibi yayılan bu dalgalar, evreni oluşturan madde ve ışınım çorbası içinde yoğun ve seyrek bölgeler oluşturarak evrenin ileriki yapılaşmasının temellerini attı.

Bu noktada WMAP çok önemli bir keşifte daha bulundu. Dalgalar farklı ortamlarda farklı biçimlerde yayılırlar. Örneğin, suda başka, zeytinyağı içinde başka, kayalar içersinde başka. Araştırmacılar WMAP'tan gelen verileri inceleyerek bu dalgaların yayılış biçiminin enerji yoğun bir evrene işaret ettiğini belirlediler. Yapısına gelince, en şaşırtıcı bilgiler burada. Baryonik madde denen ve genellikle proton ve nötronlardan yapıldığı tanıdığımız madde, yani bizler, gezegenimiz ve kardeşleri, Güneşimiz ve sayıları milyarlarca kere milyarları bulan kardeşleri, hep

birlikte evrenin enerji yoğunluğunun yalnızca yüzde 4'ünü oluşturuyoruz. Geri kalan yüzde 96 ise karanlık. Tanımadığımız karanlık madde yüzde 23 paya sahip. Evrenin geri kalanını (%73) meydana getiren, daha da gizemli bir karanlık enerji. Bunlar çılgın bir tempoyla evreni son ışıkların da söneceği bir karanlık sona doğru koşturuyorlar.

Aslında tüm yıldızlar, bir gökbilimcinin benzetmesiyle, "Himalayalar"ın üzerinden geçen bir uçakta gece gördüğünüz tek tük evin ışıkları gibi". Aşağıda çok daha büyük bir kütle varlığını gösteriyorlar. Yine kendisinin ifadesiyle şimdiye kadar evren sandığımız ışıkla, asıl evreni oluşturan karanlığın sınırlarını araştırıyoruz. Bu sınırları, evren sandığımız ışıklı küredeki yapıları ortaya çıkarmak için geliştirmiş olduğumuz teknoloji harikası teleskoplar, uydular işe yaramıyor.

Çünkü ne optik teleskoplar, ne kızılötesi ne de gama ışını gözlem araçları, ne X-ışınları ne de radyo dalgaları bu gölge evrene ulaşmamıza izin veriyor. Ama insanlık, varlığını bildiği, göremediği ama hissettiği evrenin yalnızca 25'te biriyle yetinecek tabiatla değil. Karanlıkla konuşmak için onun dilini öğrenmeye çalışıyor. Karanlığın ışığı nasıl büktüğüne bakarak, gökadalara nasıl hareket ettiğini izleyerek, çok uzaklarda patlayan yıldızların ışığını inceleyerek göremediği yapıları şimdilik el yordamıyla inceliyor. Orada bulunan ve tüm karanlığı birden ışığa boğacak yepyeni bilgileri ele geçirmeye çalışıyor. Çünkü bu bilgilere ulaşmadan nereden geldiğimizi ve nereye gideceğimizi bilmemiz mümkün değil. .



KARANLIK

Yıllar önce spekülatif biçimde evrenin yapıtaşlarından biri olarak önerilen karanlık madde, günümüzde evreni meydana getiren malzemenin en başında sayılıyor. Boşuna da değil. Bolluk bakımından, tanıdığımız maddenin altı katı. Evrenin enerji yoğunluğunun dörtte birini meydana getiriyor. Evrenin yapısını oluşturma onuru da karanlık maddeye ait. Tüm bu önemine karşın, karanlık maddenin doğası bir sır olmayı sürdürüyor. Bununla birlikte zayıf etkileşimli atomaltı parçacıklardan oluştuğu varsayıldığında, bu doğa evrenin büyük ölçekli yapısıyla uyum gösteriyor. Ancak yapı gökada ölçeklerinde ve daha altında incelendiğinde ortaya bazı tutarsızlıklar çıkmıyor değil. Bu durum da karanlık madde için başlıca aday olan soğuk karanlık madde yerine başka bazı alternatiflerin de incelenmesini gündeme getiriyor.

Teleskop görüntülerinde her renkte, biçimde sayısız gökadayla ışıl ışıl parlayan evrenin bir de karanlık yüzü olduğu ilk kez bundan 65 yıl önce anlaşıldı. Fritz Zwicky adlı astrofizikçi, büyük kümelerdeki gökadalardan sahip oldukları hızlarla kümeden kopup gitmemeleri için, kümenin, içindeki tüm yıldızların toplam kütlelerinin 100 katı bir kütle ile çekimiyle bağlanmaları gerektiğini

fark etti. Sonraki gözlemler, Zwicky'nin analizinin doğruluğunu gösterdi ve 1980'lere gelindiğinde, niteliği bilinmese de karanlık maddenin evrenin toplam enerji yoğunluğunun %20'sini oluşturduğu düşüncesi genel kabul görmeye başladı.

Evrenin, Büyük Patlama'dan sonraki ilk saniyenin çok küçük bir kesiri içinde olağanüstü bir hızla genişlediğini öneren şişme kuramı, kozmologların birçoğunu evrenin düz olması gerektiği ve toplam enerji yoğunluğunun da, pozitif eğriliğe kapalı bir evrenle, negatif eğriliğe açık bir evreni ayıran sınır çizgisinin sahip olması gerektiği düşüncesine itti. Kozmologlara, evrenin toplam enerji yoğunluğunun ne biçimde olursa olsun maddeden oluştuğu düşüncesinin basitliği çekici geliyordu. Bu maddenin %4'ünün tanıdığımız normal madde, %96'sının da karanlık madde olduğu düşünülmekteydi. Gelgelelim, gözlemsel çalışmalar, bir türlü bu modele gereksinim duyduğu kanıtları sağlamıyordu. Toplam madde yoğunluğu konusundaki tahminlerin çok geniş bir aralıkta yapılmasına karşın, evrene düz yapısını verecek kritik değere yetecek kadar madde olduğu konusunda bir türlü inandırıcı kanıt bulunamıyordu. Gözlemlerle, benimsenen model arasındaki

tutarsızlık kendini iyice belli etmeye başladı. Sonunda, evrenin yapısını ve doğasını açıklayabilecek miktarda madde bulunmadığı anlaşılınca da imdada karanlık enerji yetişti.

Karanlık enerji ile karanlık madde arasında, (yakıştırma isimleri dışında) tek ortak yan, her ikisinin de ışık yayamamaları ve ışığı soğurmamaları. Mikroskopik ölçeklerdeyse, evrenin bu iki temel ögesi, tümüyle farklı içeriklere sahip. Daha da önemlisi, karanlık madde hem kendi türüyle, hem de sıradan maddeyle "çekici" bir kütleçekim ilişkisi içinde. Bu nedenle sıradan madde ile kümelenme eğiliminde ve birlikte gökadalardan oluşuyorlar. Buna karşılık karanlık enerjinin parçacıkları birbirlerini itme eğilimindedir ve tüm evrene homojen biçimde yayılmış durumdadır. Dolayısıyla yalnızca gökadalardaki enerjiyi dikkate alan bir hesap, evrendeki karanlık enerjinin çok büyük bölümünü gözden kaçırmış oluyordu. Böyle olunca da evrenin bir de karanlık enerji içeriği olduğu düşüncesi, gökadalardaki madde yoğunluğuyla, şişme sürecinin öngördüğü kritik enerji yoğunluğu arasındaki %70-80 orandaki tutarsızlığı ortadan kaldırıyordu.

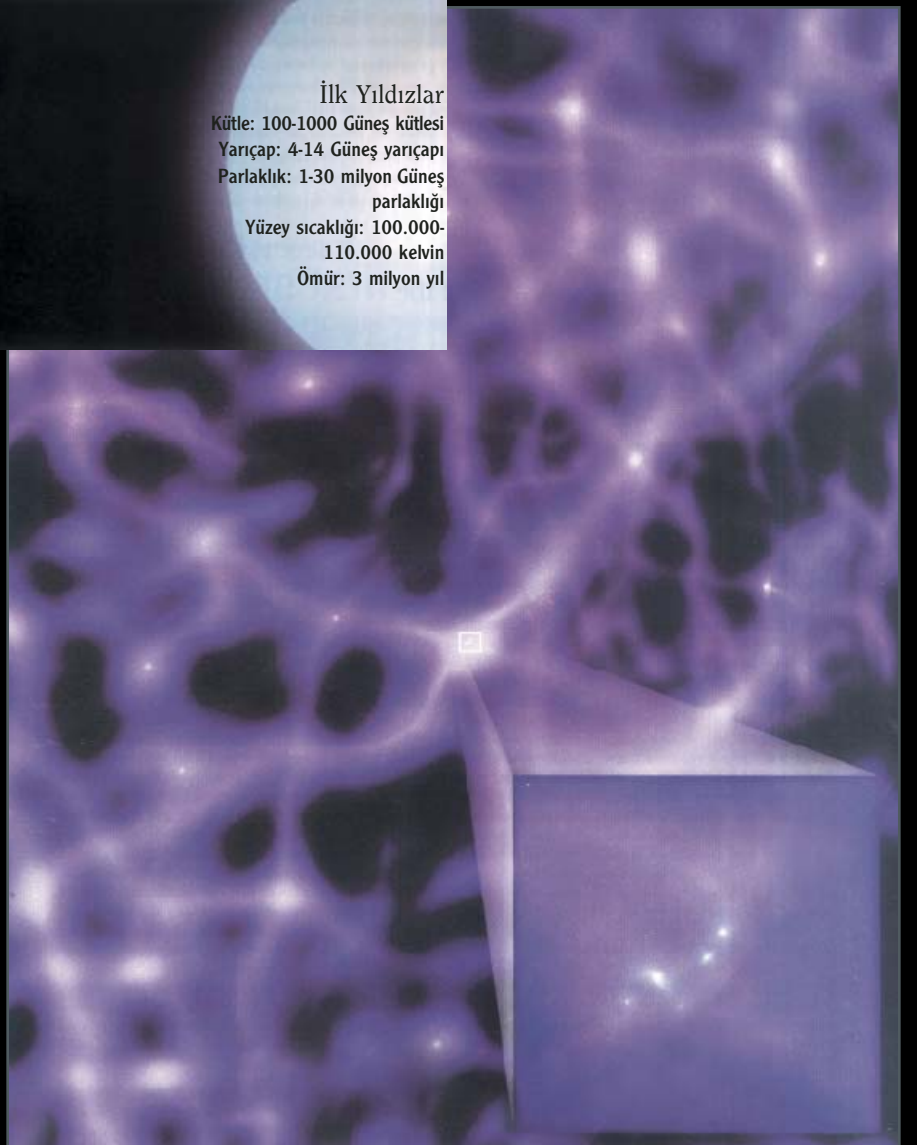
Derken, iki ayrı araştırmacı grubu, birbirlerinden bağımsız olarak uzak süpernovaların ge-



Güneş
Kütle: $1,989 \times 10^{30}$ kilogram
Yarıçap: 696.000 kilometre
Parlaklık: $3,85 \times 10^{23}$ kilowatt
Yüzey sıcaklığı: 5780 kelvin
Ömür: 10 milyar yıl

İlk Yıldızlar
Kütle: 100-1000 Güneş kütleli
Yarıçap: 4-14 Güneş yarıçapı
Parlaklık: 1-30 milyon Güneş parlaklığı
Yüzey sıcaklığı: 100.000-110.000 kelvin
Ömür: 3 milyon yıl

Kozmik fon ışınımının yayınlanmasından hemen sonra evren, uzun süre tekrar karanlığa gömüldü. Bu süre içinde başta büyük ölçüde düzgün ve homojen olan evrenin içinde küçük yoğunluk farklarının tetiklenmesiyle kütleçekimsel çöküşler başladı ve evren iplik benzeri yapılardan oluşan sünger görünümüne bir biçim aldı. Bu sicimlerin kesişme noktalarında, içlerinde ilk yıldızların oluşum sürecine girdiği gökada öncülleri ortaya çıktı ve 30-100 ışık yılı çapında, yaklaşık 1 milyon Güneş kütlelerinde olan bu yapılar daha sonra içlerindeki gaz ve yıldızlarla birleşerek gökada kümelerini oluşturdular. Farklı kaynaklar, bu süreçle ilgili farklı tarihler veriyorlar. İlk gökada öncüllerinin, Büyük Patlama'dan 100-250 milyon yıl sonra oluştuğu belirtilirken, bazı kaynaklarda ilk yıldızın Büyük Patlama'dan 75 milyon yıl sonra oluştuğunu bildiriyorlar.



MADDE

len ışık içinde evrenin hızlanarak genişlemesinin kanıtını gördüler ve karanlık enerjinin egemen olduğu model, kozmolojinin yaygın kabul gören modeli haline geldi. Son olarak da, başta gördüğümüz gibi WMAP'ın gönderdiği ve geçtiğimiz yıl açıklanan veriler, karanlık enerjinin gerçekten de evrenin toplam enerji yoğunluğunun neredeyse dörtte üçünü (%73'ünü) meydana getirdiğini doğruladı ve bu gizemli enerji, evrenin şişme süreciyle kritik yoğunluğa erişmiş, düz geometride bir yapıya sahip, hızlanarak genişleyen bir evren olduğunu öngören standart modelin temel dayanaklarından biri haline geldi.

Karanlık enerji, karanlık maddenin evrendeki rolü konusundaki düşüncelerimizi de değiştirdi. Einstein'ın genel görelilik kuramına göre, yalnızca maddeden oluşan bir evrenin geometrisini, tarihini ve geleceğini yalnızca kütle yoğunluğu be-

lirler. Ancak denkleme karanlık enerji de girince, ışın rengi değişiyor.

Her şeyden önce, evrenin geometrisi, toplam enerji yoğunluğunun kritik değere eşit olup olmasına bağlı. Şimdi bu enerji yoğunluğuna maddenin yaptığı katkıya ($E=mc^2$ formülü uyarınca), karanlık enerjinin katkısını da eklemiş oluyoruz. İkincisi, karanlık maddenin egemen olduğu dönem, artık yerini karanlık enerjinin egemen olduğu döneme bırakmış oluyor. Dolayısıyla karanlık maddenin önemli rolü, enerji yoğunluğunun büyük bölümünü oluşturduğu geçmişte, ilk birkaç milyar yıl içinde kalmış oluyor. Geleceğimiz de karanlık enerjinin doğasıyla yakından ilgili. Bu enerji, evrenin genişlemesinin hızlanmasına yetti ve bu hızlanma karanlık enerji bozunmazsa ya da durum denklemini ($w=$ basıncın, enerji yoğunluğuna oranı) değiştirmese, hızlanma sürecektir.

Burada, çok önemli bir saptama yapmak gerekiyor: Karanlık madde, kozmik yapıyı ortaya çıkaran başlıca etken. Şurası gerçek ki, evrenin bugünkü yapısında çok önemli bir rol oynamış olan karanlık madde olmasaydı, biz de bugün var olmazdık. Karanlık madde olmasaydı, evren gökadalara, yıldızları ve gezegenleri oluşturamayacak kadar homojen olurdu.

Oysa evren, en büyük ölçeklerde homojen ve

izotropik (her yönde aynı) olmasına karşılık, daha küçük ölçeklerde şaşırtıcı çeşitlikte bir yapılanma sergiliyor: Yıldızlar, gökadalara, gökada kümeleri, büyük boşluklar ve gökada kümelerinin oluşturduğu, kütleçekimle bağlanmış muazzam duvarlar...Ve böyle büyük ölçeklerde maddeyi hareket ettirecek bilinen tek kuvvet de Newton'un kütleçekimi. Düzgün ve homojen bir ortamda kütleçekimsel kuvvetler yaratacak düzensizlikler olmayacağı için de, tüm yapılar evrenin erken evrelerinde dokusuna işlemiş küçük çalkantılardan kök alıyor olmalı. Bu çalkantılar, Büyük Patlama'dan kalma kozmik fon ışınımı (CBR) üzerinde imzalarını bırakmış olmalı. Sıradan madde, CBR'da halen gözlenen daha büyük bir izma bırakmadan kayda değer yapılar oluşturamazdı. Nedeni de kendisini daha sonraki dönemlere kadar kümelendikten alıkoyan radyasyona sıkı sıkıya bağlı olmasıydı.

Buna karşılık, fotonlara bağlanmamış olan karanlık madde, (CBR gözlemlerine uygun biçimde) sonunda sıradan maddenin radyasyondan ayrılacağı çok çok uzun süreler boyunca büyüyecek olan küçük dalgalanmalara izin veriyordu. Böylece, radyasyondan kurtulmuş olan sıradan madde hızla bu yoğun karanlık madde topaklarına akan ve gözlenen yapıları oluşturacaktı.



1 İlk yıldız oluşturan sistemler (küçük gökada öncülleri) genel olarak karanlık madde olarak bilinen temel parçacıklardan (kırmızı) oluşmaktaydı. Büyük ölçüde hidrojen gazından oluşan sıradan madde (mavi), başlangıçta karanlık maddeyle karışmış durumdaydı.



2 Hidrojenin soğuması, sıradan maddeye büzülme olanağı sağladı. Karanlık maddeye dağınlığını sürdürdü. Hidrojen, merkezde bir disk halinde çöktü.



3 Gazın daha yoğun bölgeleri büzülerek, yıldız oluşturan topaklar haline geldiler. Bazı gaz topakları çökerek, çok büyük kütleli parlak yıldızlar oluşturdular.



4 Yıldızlardan kaynaklanan morötesi ışınım, çevredeki nötr hidrojen gazını iyonlaştırdı. Yıldız oluşumu hızlandıkça, iyonlaşmış gazın oluşturduğu balonlar birleştiler ve gökadalara arasındaki gaz tümüyle iyonlaştı.



5 Birkaç milyon yıl sonra ilk yıldızlardan bazıları kısa yaşamlarının sonunda süpernova patlamalarıyla yok oldular. En büyük yıldızlar çökerek karadeliğe haline geldiler.



6 Kütleçekimi gökada öncüllerini birbirlerine yaklaştırdı. Çarpışmaların o zaman da, şimdi olduğu gibi yeni yıldız oluşumunu tetiklediği sanılıyor.



7 Karadeliğler, bir olasılıkla birleşerek gökada öncülünün merkezindeki dev kütleli karadeliği oluşturdular. Bu deliğe yakalanan gaz kuasar benzeri radyasyon yayımına yol açmış olabilir.

Bu senaryoda da çalkantıların başlangıçtaki varlığı gerekiyor, ama bunların ölçeklerinin çok küçük olması bile yetiyordu. Ancak, senaryo için asıl gereken, “soğuk karanlık madde” denen madde türü. Bu maddenin böyle adlandırılmasının nedeni, relativistik olmayan (yani başlangıçta ışık hızına yakın hızlarda hareket etmeyen) ve büyük bir sıcaklık dağılımı bulunmayan, yani termal hareket içinde olmadığı için “soğuk” sayılan parçacıklardan oluşması.

Bu maddenin doğasını bilmeden evreni tanıdığımızı söyleyemeyiz. Aslında ışımayan iki karanlık maddeyi biliyoruz: Nötrinolar ve karadelikler. Ancak bunların, evrenin enerji bütçesine çok küçük katkılar yaptığını da biliyoruz.

Karanlık Madde Adayları

Karanlık maddenin varlığının belirlenmesinden sonra, türü üzerinde yapılan spekülasyonlar

da en çok üzerinde durulan, uzun ömürlü, soğuk ve birbirleriyle çarpışmadığı varsayılan parçacıklardır. Uzun ömürlü deyince kastedilen öyle beş-on yıl değil, evrenin bugünkü yaşına (yaklaşık 14 milyar yıl) eşit ya da daha uzun bir ömür. Soğuk deyince de parçacıkların evrenin madde yoğun döneminin hemen başında relativistik hızlara sahip olmamaları, dolayısıyla da hemen kütleçekim etkisiyle kümelenebilmeleri gereği anlaşılmalı. Kümelene, haliyle Hubble ufkundan (evrenin yaşıyla, ışık hızının çarpımı) daha küçük ölçeklerde olmalı. Ve Hubble ufku da madde egemenliğindeki dönemde bugüne kıyasla çok sınırlı olduğundan, ortaya çıkan ilk yapılar –karanlık madde kümeleri ya da “haleleri” – Samanyolu’ndan çok daha küçük boyutlarda ve daha düşük kütledeydi. Evren genişleyip Hubble ufku da büyüdükçe, bu ilk küçük hallerden birçoğu, daha büyük yapılar meydana getirmek üzere birleşti. Sonuçta, aralarında hacim ve kütle bakımından 10’un büyük katları kadar farklar olabilen ve bugün gördüklerimizle örtüşen bir yapı hiyerarşisi oluştu.

Soğuk karanlık maddenin tersine, küçük kütleli nötrinolar gibisinden “sıcak” relativistik par-

çacıklar, madde-egemen dönemde çok hızlı hareket edeceklerinden kütleçekim etkisiyle kümelenebilecekler ve bugün gördüğümüzle tutarlı olmayan bir yapılaşma ortaya çıkacaktı. Dolayısıyla da nötrinolar, karanlık madde kütle yoğunluğunun ihmal edilebilir kadar küçük bir bölümünü meydana getiriyor olmalı. Bu çıkarım, yeraltı nötrino deneylerinde elde edilen güneş nötrinosu kütle ölçüleriyle örtüşüyor. Karanlık maddenin çarpışmama özelliğinden anlaşılması gerekense şu: Karanlık madde parçacıklarının kendi aralarında ya da sıradan madde parçacıklarıyla çarpışma ortalamaları öylesine düşük ki, bu, karanlık madde halelerinde bulunan yoğunluklar için rahatlıkla gözardı edilebilir. Bu parçacıklar birbirlerine yalnızca kütleçekimle bağlılar ve hale içinde çok basık eliptik yörüngelerde, başka hiçbir şeyden etkilenmeksizin hareket ediyorlar.

Soğuk, çarpışmasız karanlık maddenin (cold collisionless dark matter – CDM) yeni evren modelleri için tercih edilmesinin çeşitli nedenleri var. Birincisi, CDM’nin nasıl yapı oluşturduğu konusunda yapılan rakamsal simülasyonların sonuçları, evrenin günümüzdeki yapısıyla ilgili göz-

Gökadaların Oluşumu:

İlk madde-ışınım “çorba”sının gökadalara dönüşmesini üç temel süreç belirledi: Büyük Patlama’da evrenin toplam genişlemesi, kütleçekimin şiddeti ve parçacıklarla daha büyük yapı parçalarının hareketleri. Bu süreçler arasında değişen dengeler, gökadalardan homojen bir gaz ya da bir karadelikler sürüsü yerine, ayrı ve düzgün yapılar haline geldiğini açıklıyor. Bu karamda önce küçük cisimler çöküyor ve birbirlerine yapışarak daha büyük cisimleri oluşturuyorlar. Süreç içinde önemli bir gereklilik, sıradan maddeden daha farklı bir dengeye giren karanlık madde.



1 Başlangıçta bir ilkel akışkan sıradan madde (mavi) ve karanlık madde (kırmızı) karışımı evreni dolduruyor. Yoğunluğu, bölgeden bölgeye küçük ölçeklerle değişiyor.



2 Önceleri, kozmik genişleme kütleçekimine üstün geliyor. Karışım seyreliyor; ancak, daha yüksek yoğunluktaki parçaların seyrelemesi, daha yavaş oluyor.



3 Sonunda bu parçalar çevrelerine göre öylesine yoğunlaşıyorlar ki, kütleçekim bunları genişleme sürecinden geri alıyor.



4 Parçacıklardan her biri çökerken denge kazanıyor. Sıradan ve karanlık maddenin yoğunluğu merkezde artıyor, kenarlarda azalıyor.



5 Işınım yayamadığı için karanlık madde ilk şeklini koruyor. Fakat, sıradan madde ışınım yayarak dönen bir diske çöküyor ve yıldızlar halinde yoğunlaşmaya başlıyor.



6 Gökada öncülleri etkileşime giriyor. Birbirlerine tork uyguluyorlar ve birleşerek giderek daha büyük yapılar oluşturuyorlar. (Bu adım 4. ve 5. adımlarla birlikte yürüyor.)



7 Benzer büyüklükte iki disk birleştiğinde, içlerindeki yıldızların yörüngeleri karışıyor. Sonuçta bir eliptik gökkada ortaya çıkıyor. Daha sonra eliptik gökadanın çevresinde bir disk oluşabiliyor.



8 Birleşme yeni yıldız oluşumunu tetikliyor ve merkezdeki karadeliğe malzeme akışı sağlıyor. Bu da plazma jetleri püskürttürebilen aktif gökda çekirdeği oluşumuna yol açıyor.



Gökada kümesi CL0024+1654, daha uzaktaki gökadalardan ışığını bükerek, resimdeki garip yay biçimli yapıları oluşturmuş. Bükülme için gereken kütleçekiminin büyük kısmını, görünmeyen karanlık madde sağlıyor.



California Teknoloji Enstitüsü gökbilimcilerince bir gökada kümesinde 39 ayrı bölgenin gözlenmesi sonucu oluşturulmuş bir karanlık madde haritası. Karanlık madde (mavi), kümenin merkezinde görünür gökadalardan dağılımını izleyerek, merkezde toplanıyor. Karanlık maddenin, birleşerek bu kümeyi oluşturan küçük gökada gruplarını bir arada tuttuğu düşünülüyor.

lemlerle uyum içinde. İkincisi, CCDM'nin "zayıf etkileşimli ağır parçacık" (Weakly Interacting Massive Particle - WIMP) denen bir türünün gereken bolluğa sahip olmasının doğal bir açıklaması bulunuyor. Eğer parçacıklar (bozunmadan sorumlu) zayıf kuvvet aracılığıyla etkileşiyorlarsa, Büyük Patlama'dan sonraki ilk saniyenin trilyonda bir ölçeğindeki kesirleri içinde, sıcaklık ve yoğunluk yeterince yüksekken termal dengede bulunmaları (yani yok olan parçacık kadar yeni parçacığın ortaya çıkması) gerekiyordu. Daha sonra parçacıklar, karşı madde ile birbirlerini yok etme sürecinden beklenen yoğunlukla, bu dengeden çıktılar. Zayıf kuvvetin ortalama etkisi de gözönünde tutulduğunda karanlık maddenin kütle yo-

ğunluğunun, evrenin bugünkü enerji yoğunluğunun %20-30'u arasında olması gerekiyor ki, bu da gözlemlerle uyum içinde.

CCDM modelinin tercih nedenlerinden biride, modellerde karanlık madde için çekici adayların bulunması. Bunlardan biri, süpersimetriye dayalı modellerde ortaya çıkan nötralino adlı parçacık. Süpersimetri, kozmik ölçeklerde etkiye sahip kütleçekimini, atomaltı ölçeklerde etkili öteki temel doğa kuvvetleriyle (şiddetli çekirdek kuvveti, zayıf kuvvet ve elektromanyetizma) özdeşleştirmeyi amaçlayan süper-gravitasyon ve süpersicim gibi kuramların temel hareket noktası. Kuram, fermiyon özellikli her parçacık (aynı kuantum durumunda olmaktan hoşlanmayan mad-

de parçacıkları) için (henüz gözlenmemiş) bir bozon (aynı enerji düzeyinde toplanabilen, genellikle kuvvet taşıyan parçacıklar), her bozon için de fermiyon bir eşin varlığını öngörüyor. Eğer süpersimetri bugün geçerli olsaydı, eşlerin kütlelerinin aynı olması gerekecekti. Ne var ki, süpersimetri evrenin ilk anlarındaki yüksek sıcaklıklarda kendiliğinden kırılmış olacağından, bugün, eğer varsa bu gözlenmemiş süpersimetrik eşlerin, bilinen parçacık kütlelerinden daha farklı olması gerekiyor. Ayrıca süpersimetrik parçacıkların çoğunun kararsız olduğu ve simetrisinin kırılmasından kısa süre sonra yok oldukları düşünülüyor. Ancak, bunlar içinde en hafifi olan ve kütlelerinin 100 GeV (milyar elektronvolt) kadar olduğu dü-

Oh, Rahatladım...

Kütleçekimi, küçük yoğunluk farklarının artmasına ve sonunda çökmelerine yol açar. Çöküş sırasında gaz ve karanlık madde, bir içsel denge durumu oluşturmaya çalışırlar. Bu denge, biçimi ve yoğunluk profili gibi, gökadanın genel özelliklerini belirler. Sıradan madde ve karanlık madde, dengeye başka yollardan varırlar.



İribaş Gökadası

Resimde bir davetsiz misafir tarafından İribaş Gökadası'ndan çalınan yıldız ve tozların oluşturduğu kuyruk görülüyor. "Misafir", İribaş'ın diskinin sol üstünde görünen mavi yapı. Karanlık madde haleleri bu etkileşimin sonuçlarını büyütüyor. Sol alttaki resimde çerçeve içinde görülen sarmal gökada, karanlık maddenin gücünü gösteriyor. Bu isimli sarmal gökadanın yapay olarak renklendirilmiş yakın çekim görüntüsü (yukarıda solda), ışıktan garip bir sorguç gösteriyor. Sorguçun, büyük gökadanın karanlık madde halesi tarafından parçalanmış küçük bir gökada olduğu düşünülüyor. Bilgisayar simülasyonları, küçük gökadanın 4,8 milyar yıl boyunca nasıl parçalanıp yok olduğunu gösteriyor.

şünülen süpersimetrik parçacığın, içsel simetrisi nedeniyle bozunmamış olacağı düşünülüyor. En basit süpersimetri modellerinde bu parçacıklar elektrik yükü taşımayan, zayıf etkileşimli parçacıklar olarak tanımlanıyor. Bu durumları da onları WIMP türü karanlık madde için ideal adayların başına taşıyor.

Eğer karanlık madde nötralinolardan oluşuyorsa, yeraltında kurulmaya başlayan karanlık madde detektörlerinin, Dünya, Güneş çevresindeki yörüngesinde hareket ettikçe ve çevredeki karanlık maddenin içinden geçtikçe, bu maddeyi belirlemeleri gerekir. Ancak, detektörler karanlık maddenin varlığını belirlese bile bu, karanlık maddenin esas olarak WIMP'lerden meydana geldiğinin kanıtı anlamına gelmiyor. Halen sürdürülmekte olan deneyler, WIMP'lerin karanlık maddenin çoğunluğunu mu, yoksa nötrinolar gibi küçük bir bölümünü oluşturduğunu belirleme yeteneğine sahip değil.

Karanlık madde için diğer bir adaysa, axion. Bu, yine elektrik yükü taşımayan, ancak kütlelerinin nötralinonun tersine çok küçük olması öngörülen bir parçacık. Modellerde axion'un kütlelerinin 1 mikroelevtronvolt olması öngörülmüyor. Bu küçük kütle de Büyük Birleşme Kuramı'nda ortaya çıkan yüksek düzeyde Yük Parite ihlallerini baskılıyor. Ancak, axion son derece küçük bir güçle etkileştiklerinden hiçbir zaman termal dengeye olamıyor. Kuramda, ortaya çıkar çıkmaz tüm evreni dolduran bir soğuk Bose yoğunlaşması oluşturuyor. Günümüzde büyük laboratuvarlarda kurulmuş axion detektörleriyle bu karanlık madde parçacığı da aranıyor.

Problemler

Kozmolojinin standart modeli, CCDM ile de birleştiğinde oldukça belirgin matematiksel öngörülerde bulunuyor ve bu öngörüler çeşitli büyüklük ölçeklerinde sınanabiliyor. Binlerce megaparsek (1 megaparsek = 3,26 milyon ışık yılı) büyüklüğündeki yapılar, kozmik fon ışınımında izleniyor. Bunlar, fon ışınımındaki küçük sıcaklık, dolayısıyla yoğunluk farkları biçiminde kendilerini gösteriyor. Fon ışınımı, enerji ve maddenin da-

ğılımının neredeyse eşit olduğu evrenin en erken dönemlerinden kaldığından, içinde belirgin bir yapılaşma görülüyor. Bir sonraki ölçek, gökadalardan dağılımında görülen büyük ölçekli yapılaşma. Bu ölçek de birkaç megaparsekten, 1000 megaparsek'e kadar olan yapılardan oluşuyor. Bu ölçekte de gözlemlerle kuram arasında sorun bulunmaması, resmin bütününe, yani kurama olan güveni artırıyor.

Ancak, iş daha küçük ölçeklere, yani 1 megaparsekten, gökada boyutlarına, birkaç kiloparsek (1 kiloparsek = 3260 ışık yılı) ya da daha alt mesafelere gelince temelde çatlaklar izlenmeye başlıyor. Yani kuram ile gözlem arasındaki tutarlılık oranı düşüş sergiliyor. Daha yakındaki yapılarla ilgili belirsizliğin, uzaktakilere kıyasla daha büyük olması aslında çelişki gibi görünse de, normal. Çünkü bir kere, büyük ölçeklerde kütleçekim baskın olduğu için öngörülerin sınanması ancak Newton ya da Einstein kütleçekim formüllerini içeren hesapları gerektiriyor. Daha küçük ölçeklerdeyse sıcak ve yoğun maddenin hidrodinamik etkilerinin de hesaba katılması gerekiyor. İkincisi, büyük ölçeklerde dalgalanmalar küçük boyutta oluyor ve bu miktarları hesaplamak için fizikçilerin elinde duyarlı yöntemler bulunuyor. Oysa gökada gibi küçük ölçeklerde, sıradan madde ile radyasyon arasındaki etkileşimin karmaşık ilişkilerinin de hesaba katılması gerekiyor.

Aslında, son yıllarda ortaya çıkan bu tutarsızlıkların gerçekten bir sorun olup olmadığı konusunda da bir ortak görüş yok. Kuramcılarının çoğu, eğer ortada sorun varsa, bunların standart modelin sunduğu genel resimden çok, karanlık maddenin doğası konusunda yaptığımız belirli varsayımların geçersizliği nedeniyle ortaya çıkabileceği düşünüyor.

Yine de görece küçük ölçeklerde kuramla gözlem arasında var olduğu öne sürülen tutarsızlıklar şunlar:

Birinci seri tutarsızlık, büyük yapılar içindeki daha küçük altyapılarla ilgili. Daha büyük yapılar içinde dolaşması gereken küçük haleler ve gökadalardan, CCDM modeli temel alınarak yapılan rakamsal simülasyonlarda ortaya çıktığı kadar çok sayıda değil. Örneğin, Samanyolu ve yakın çevre-

sindeki irili ufaklı gökadalardan oluşan "Yerel Grup" adlı kümede bu küçük karanlık madde halelerinden en az 500 tane bulunması gerekiyor ki, bunların gerçekten var olduğu konusunda kütleçekimsel bir kanıt yok. Ayrıca, modellerin öngördüğü halelerin sayısı kütleyle ters orantılı olduğu için, ortada gözlemlerle saptanandan daha çok küce gökada bulunması gerekiyor. Çok sayıda halelerin mercekleme etkisinin, bir gökadanın mercekleşmiş görüntülerindeki ışık dağılımında ortaya çıkması gerekirken, bu etkiyi gösteren kesin bulgular da yok. Samanyolu ve benzeri sistemlerin içine çökelen küçük karanlık madde halelerinin, ince gökada disklerini görünenden daha fazla karmaları gerekiyor.

Dahası, karanlık madde halelerinin yoğunluk profillerinde kuramsal olarak bir topaklanma olması, yani merkeze olan uzaklık azaldıkça yoğunluğun hızla artması gerekiyor. Oysa gözlenen kütleçekimsel çöküş içindeki birçok sistemde bu topaksı yapı çok belirgin değil. Örneğin, kütleçekimsel mercekleme olaylarının incelenmesi gösteriyor ki, arkasındaki cismin görüntüsünün mercekleme gökada kümelerinin merkezleri, bilgisayar simülasyonlarında görüldüğü kadar yoğunlaşmış değil. Sarmal gökadalardan iç kısımlarında da, sanıldan çok daha az karanlık maddenin var olduğunu gösteren işaretler var. Samanyolu'nun küçük uyduları Draco ve Sculptor gibi küce gökadalardan merkezleri, yoğunlaşmış bir profil değil, neredeyse homojen bir madde yoğunluğu gösteriyor. Hidrodinamik simülasyonlar çok küçük ve dönüş hızları çok az olan gökada diskleri ortaya çıkarıyor ki, bunlar gözlemlerle çelişiyor. Yüksek yüzey parlaklığına sahip pek çok sarmal gökadanın merkezindeki çubuk şeklinde dönen yapılar bulunuyor. Bunların kararlı kalabilmesi için öngörülenden daha düşük yoğunlukta olmaları gerekiyor.

Sayılan tüm tutarsızlıklar belki şimdiye kadar olanlardan biraz daha karmaşık astrofiziksel süreçlerle açıklanabilir ve bunlarla ilgili olarak öne sürülen pek çok açıklama doğru da olabilir; ama halelerin merkezlerinde öngörülen yoğunlukla, gözlemler arasındaki tutarsızlık biraz daha ciddi görünüyor gibi. Gerçi hale merkezlerindeki to-

paklanmış yapıyla ilgili teorik öngörülerin sanıldığı kadar sağlam olmaması da olası. Ama kozmologlar, modellerin bir katrilyon Güneş kütle-sindeki gökada kümeleri içindekilerden, 1 milyar Güneş kütle-sindeki cüce gökadalara içerindekiler kadar farklı büyüklükte karanlık hale merkezleri için öngördüğü yüksek yoğunlukla, gözlenen düşük yoğunluk arasındaki çelişkinin görmezlikten gelinemeceğini de vurguluyorlar.

Karanlık, Ama Nasıl?

Kuram ile gözlem arasındaki olası tutarsızlıklar, karanlık maddenin doğası hakkında CCDM'den farklı bazı önerilerin öne sürülmesine de yol açmış bulunuyor:

Kendisiyle Güçlü Etkileşen Karanlık Madde: Bu modelde karanlık madde, CCDM'ye ve normal maddeye kıyasla daha fazla saçılma eğiliminde oluyor. Bu nedenle, büyük ya da küçük herhangi bir karanlık madde halesinin evrimi daha karmaşık bir süreç izliyor. Bu sürecin, ilk bölümünde parçacıkların saçılma eğilimi nedeniyle merkezdeki yoğunluk da azalıyor. Ayrıca saçılma karanlık hale içindeki daha küçük haleleri de aşındırıyor ya da dışarıya atıyor

"İlik" Karanlık Madde: Bu öngörüye göre karanlık madde relativistik hızlara kadar uzanan bir sıcaklık dağılımı ile olmasa bile, belki de öteki türlerin bozunması nedeniyle daha dar bir aralıkta değişen sıcaklıklarla doğuyor ve bu da karanlık maddeye şimdi, örneğin saniyede 100 metre hız sağlıyor. Ancak, geçmişe gidildiğinde sıcaklık ve hız artacağından, bunun küçük ölçekli yapı üzerinde önemli etkileri olacaktır. Sıcaklık parçacıklarının hızını artıracığından küçük ölçekli kümelerin sayısı az olacak; büyük ölçekli halelerin merkezlerindeki yoğunluk eğrisi fazla dik olma-yacaktır.

İtici Karanlık Madde: Karanlık madde, küçük mesafelerde itici bir potansiyele sahip büyük kütleli bozonların bir yoğunlaşması olabilir. Bu du-



Kozmik yapıyı gösteren bilgisayar simülasyonu, evrende maddenin dağılımını gerçekçi biçimde yansıtıyor. Böyle simülasyonlar, evrenin büyük ölçekli yapısının ancak muazzam miktarda karanlık maddenin kütleçekim yardımıyla oluşabileceğini gösteriyor.

rumda karanlık madde halesinin iç kısımları bir süperakışkan gibi davranır ve daha az yoğun olur.

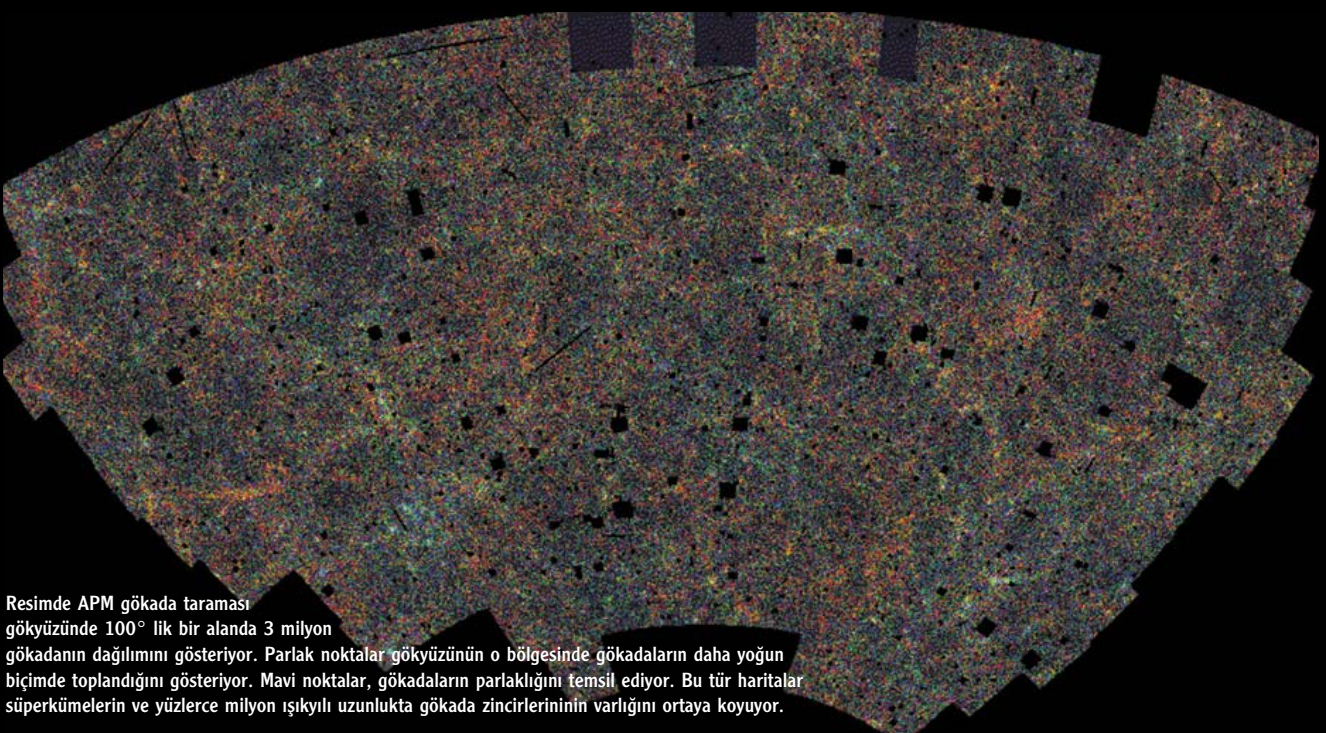
Dağınık Karanlık Madde: Karanlık madde son derece hafif ve tüm evrene aynı (seyrek) yoğunlukla dağılmış parçacıklardan olabilir. Bunların Compton dalga boyları da (yani efektif büyüklükleri) bir gökada merkezi kadar olabilir ve dolayısıyla karanlık madde daha küçük ölçeklerde toplanamaz. Bu da karanlık madde halesinin merkezlerinin daha yumuşak olmasını ve karanlık maddenin görece küçük yapılar oluşturmasını sağlar.

Kendini Yok Eden Karanlık Madde: Yoğunlaşmış bölgelerdeki karanlık madde parçacıkları çarpışarak birbirlerini yok eder ve radyasyonun serbest kalmasına yol açabilirler. Bu da parçacık sayısının azalması nedeniyle küme merkezlerinin yoğunluklarının da azalması sonucunu doğurur. Ayrıca, merkezde kütleçekiminin azalması nede-

niyle yeniden biçimleneceğinden, kümenin merkez dışındaki kısmı da genişler.

Bozunan Karanlık Madde: Eskiden yoğun olan karanlık madde halesi relativistik (yüksek hızlı) parçacıklara ve daha düşük kütledeki artıklara bozunursa, daha önce oluşmuş olan merkez yoğunlukları, halen büyük ölçekli yapısına zarar vermeden azalabilir.

Büyük Kütleli Kara Delikler: Gökada halesindeki karanlık maddenin büyük bölümü, 1 milyon Güneş kütleli ağır karadeliklerden oluşuyorsa, Gökadamızın özellikleriyle ilgili bilmecelelerden büyük çoğunluğu daha anlaşılır hale gelir. Normal gökadalarda büyük kütleli karadeliklerle normal madde arasındaki sürtünme, merkezden birkaç kiloparsek uzaklıktaki karadelikleri merkeze doğru süpürür, bu bölgeleri karanlık maddenin temizler ve gökadalara hemen hepsinde görülen süperdev kütleli karadeliklerin oluşmasını sağlar.



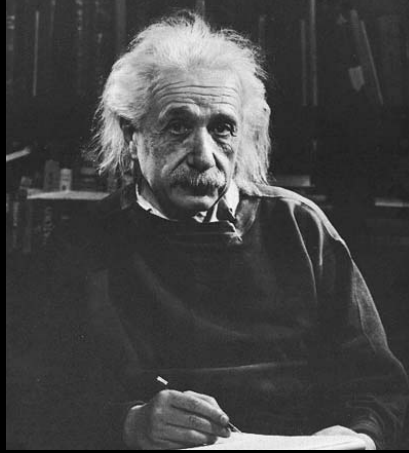
Resimde APM gökada taraması gökyüzünde 100° lik bir alanda 3 milyon gökadanın dağılımını gösteriyor. Parlak noktalar gökyüzünün o bölgesinde gökadalara daha yoğun biçimde toplandığını gösteriyor. Mavi noktalar, gökadalara parlaklığını temsil ediyor. Bu tür haritalar süperkümelerin ve yüzlerce milyon ışık yılı uzunlukta gökada zincirlerinin varlığını ortaya koyuyor.

KARANLIK

Karanlık madde şaşırtıyor. Karanlık bir gecede görüp sevdiğimiz, bunlardan daha en az milyar kere milyar kadarının doldurduğunu düşünerek, görkemi karşısında ürktüyle karışık saygı duyduğumuz evreni bir anda sıfırlıyor. Tanıdığımız evrende daha yalnızca yıldızları kabaca saydık. Soğuk atomlardan, moleküllerden oluşmuş, çökecek dev gökadalara meydana getiren muazzam gaz ve toz bulutlarını, milyonlarca derece sıcaklığa kadar ısınıp dev gökada kümelerinde gökadalara arasındaki boşlukta işyan gazı, ölmüş yıldızları saymadık bile. Oysa bunların toplam kütlesi, işyan yıldızların gökadalardan kütlelerini kat kat aşılıyor. Şimdiye kadar ağzımızı açık bırakan, gözlerimizle gördüğümüzle, zihnimizde zorlanarak da olsa canlandırmaya çalıştığımız evren tablosu arasındaki ölçek farkı. Kendimizi ne kadar küçük hissetsek de bir tesellimiz var: Biliyoruz ki bizler de, üzerinde yaşadığımız gezegen de, başkaları da, bunların çevresinde döndükleri yıldızlar, onların oluşturduğu gökadalara, yeni gökadalara oluşturacak olan gaz ve toz, hep aynı maddeden, yapıyız. Hamurumuz aynı. Ama öğreniyoruz ki, bu hamurla koskoca bir pasta'nın üzerine ancak küçük süsler yapabiliyoruz. Pastanın kendisiye başka bir hamurdan yapıldı. Tanıdığımız maddenin altı katı. Elimizi uzatıyoruz, bir şeye dokunamıyoruz. Belki elimiz içinden geçip gidiyor ama hissedemiyoruz. Ancak, varlığını pastanın terazideki ağırlığından anlıyoruz. Bu da bizi biraz rahatlatıyor. Demek ki, bu gizemli maddeyle en az bir ortak noktamız var. İkimiz de kütleçekiminin esiriyiz. Peki pastayı kabartan? İşte orada söyleyebilecek bir şeyimiz kalmıyor. Bu enerji de görünmüyor. O da "karanlık". Ama karanlık maddede olduğu gibi eteğine tutunabileceğimiz hiçbir ortak yan, benzetebileceğimiz bir enerji türü yok. Benzerlik bir yana, alıştığımız doğayla tek bağlantısını da koparmış. Bizi kendine çekeceği yerde itiyor.

Aslında bu şaşkınlık, yorgun, uykusuz gecelerinde pasta düşleri görenlere özgü değil. Ömürlerini dev teleskoplarla, çanaklarla evrenin derinliklerini gözleyerek geçiren kozmologlar için de çok yeterince bol. Bunlardan biri, 1997 yılında uzak bir süpernova patlamasının zayıf ışığı biçiminde geldi. Yaklaşık 2000 megaparsek uzaklıkta meydana gelen bir süpernova patlamasından kaynaklanan ve aşağı yukarı 5 milyar yıl yol aldıktan sonra Şili'deki bir gözlemevinin dev teleskop aynasına düşen birkaç yüz foton, yüzyıllardır sabırla yapılan gözlemlerin, gelişkin teknolojik araçlar sayesinde hızlanan bilgi birikiminin oluşturduğu kozmolojinin en temel dayanaklarından birini yıktı: Evrenin Büyük Patlama'dan kaynaklanan genişlemesi, beklediği gibi kütleçekiminin etkisiyle yavaşlamıyor, tersine hızlanıyordu. Bu süpernova patlaması ve benzer uzaklıklarda meydana gelen başkaları üzerinde yapılan gözlemlerin sonuçları tekrar tekrar kontrol edildi. Patlamaların ışığının olması gerekenden %25 daha soğuk çıkmasına yol açabilecek olası nedenler didik didik edildi. Sonuç değişmiyordu. Evren giderek hızlanarak genişliyordu.

Peki birkaç süpernova patlamasına bu kadar güvenmek niye? Niyesi, sözkonusu süpernova patlamalarının özelliğinde yatıyor. Süpernova patlaması, genellikle dev kütleli bir yıldızın, merkezindeki yakıtı (hidrojen) başka elementlere dönüştürüp tekrar tekrar yaktıktan sonra demire gelip dayanınca daha fazla enerji üretemeyip muazzam kütle çekim baskısı nedeniyle çökerek karadeliğe ya da nötron yıldızı haline geldiği, dinamikleri oldukça iyi bilinen bir süreç. Çöken merkezde serbest kalan enerjinin büyük kısmı, nötrinolar olarak uzaya saçılıp evrenin karanlık madde toplamına mütevazı bir katkı yapıyor. Bir kısmı da kinetik enerji biçimi alıyor ve bir şok dalgasıyla yıldızın dış katmanlarını, koskoca gökadalara ışığını bile bastıran bir patlamayla uzaya saçıyor. Bunlar genellikle tayflarında hidrojen çizgi-



si olanlar (tip II) ve olmayanlar tip I olarak ayrılırlar. Tip I süpernovalar da silikon içerip içermediklerine bağlı olarak tip Ib ve tip Ic olarak ayrılırlar. Ancak, tip Ia denen tür, ötekilere hiç benzemiyor. Bu süpernova, bir kere dev bir yıldızda değil, kütlesi aşağı yukarı Güneş kadar olan yıldızların ölüm artığı olan "beyaz cüce"lerde meydana geliyor. Ömrünün sonunda dış kabuklarını uzaya salmış olan yıldızın çökerek sıkışmış çiplak merkezi olan beyaz cüce, ikili bir yıldız sistemindeyse ömrünün sonuna yaklaşmış şişmeye başlamış olan eşinden gaz çalmaya başlıyor. Cücenin çevresinde bir disk oluşturarak üzerine yağmakta olan hidrojen gazı, onun kütlesini kritik bir değer olan 1,4 Güneş kütlesine çıkarınca, fosil yıldız oluşturan karbon ve oksijen, zincirleme bir reaksiyona giriyor ve tüm yıldız patlayarak yok oluyor. Yıldızın uzaya saçılan malzemesi önce tümüyle radyoaktif kobalta, sonra nikel ve daha sonra demire dönüşüyor. Radyoaktif bozunma sürecinde çıkan ışınım Tip Ia patlamasını kısa bir süre için (birkaç hafta ya da bir ay) Güneş'ten milyarlarca kez daha parlak hale getiriyor.

Tip Ia patlamalarının kozmolojik önemi, beyaz cüce hep aynı kütleyle erişince patlamaları dolayısıyla yaydıkları enerji miktarının da aşağı yukarı aynı olması. Dolayısıyla bu yıldızlar koz-

molojide en güvenilir "standart ışık kaynağı" olarak kabul ediliyorlar. Çünkü patlama anında yaydıkları ışınım ve parlaklıkları aynı olduğundan ve milyarlarca ışık yılı uzaklıklardan görülebildiklerinden, parlaklıklarının derecesi, içinde patladıkları gökadanın mesafesinin doğru olarak hesaplanabilmesini sağlıyor.

Dolayısıyla 1997'deki patlamayı inceleyen araştırmacılar, ışıktaki parlaklığın derecesinden patlamanın ne kadar uzakta meydana geldiğini anlayabiliyorlar. Biraz sonra göreceğimiz gibi, her zaman değil; ama normalde tip Ia süpernovasının patlamasının ışığı ne kadar sönükse, bizden o kadar uzak demek. Araştırmacılar, ışıktaki tayf çizgilerinin yerlerinden, daha uzun dalgaboylarına (kırmızıya) kaymayı inceliyorlar. Bu da ışığın bize doğru yola çıkmasından bu yana evrenin ne kadar genişlemiş olduğunu hesaplayabiliyorlar.

O tarihe kadar kozmolojide hakim olan düşünce Büyük Patlama'nın maddeye verdiği itkinin, zaman geçtikçe evrende oluşan yapıların birbirlerine uyguladığı kütleçekim kuvvetinin nedeniyle azalacağı merkezindeydi. Oysa, 1997 yılında Şili'deki gözlemevinde bulunan ve daha sonra dünyanın başka gözlemevlerinde toplam bir düzine kadar uzak süpernovayı izleyen gökbilimcilerin vardıkları sonuç şuydu: Bu patlamaların ışıklarındaki sürpriz solukluk, tayflarındaki kırmızıya kaymanın gösterdiği mesafeden daha uzakta meydana geldiklerini gösteriyordu. Bir başka açıdan bakıldığında, bu muazzam mesafelerde meydana gelen patlamalardan gelen ışık, beklenenden daha düşük ölçüde kırmızıya kaymıştı. Demek ki, evren geçmişte beklenenden daha düşük bir hızla genişliyor ve evrenin dokusuyla içinde yol almakta olan ışığı daha az genleştiriyordu. Bundan çıkan sonuç da evrenin günümüzde daha hızlı genişlediği. Oysa normal maddeden oluşmuş bir evren bu şekilde büyüyemez; çünkü içindeki madde daima birbirini çeker. Ancak, Einstein'ın kuramına göre bir egzotik enerji türünün evrenin her yerini doldurması durumunda genişleme hızlanabilir. Bu garip "karanlık enerji", Einstein'ın formüllerinde "kozmojik sabit" olarak geçiyor.

Genel görelilik kuramında, ister çekici, ister itici olsun kütleçekim kuvvetlerinin kaynağı enerjidir. Madde de enerjinin bir türü olarak tanımlanır. Ancak, Einstein'ın kozmolojik terimi bunlardan farklılık gösteriyor. Bir kere, yere ve zamana göre değişmiyor. Kozmolojik sabit adı da bu özelliğinden geliyor. Ayrıca, bu sabitin yarattığı kuvvet, madde ya da ışınının bulunmadığı ortamlarda da etki yapıyor. Dolayısıyla kozmolojik sabitin kaynağı, boş uzaya yerleşmiş gizemli bir enerji olmalı.

Kozmolojik sabit, Einstein'ın 1917 yılında kuramını o zamanlar statik olduğuna inanılan evrenle uyum halinde göstermek için formüllerine

ENERJİ

eklediği bir kavram. Daha sonra Edwin Hubble tarafından evrenin genişlediği kanıtlandıktan sonra Einstein'ın bu kavramı "hayatının en büyük hatası" olarak nitelendirdiği, ünlü kozmolog George Gamow tarafından nakledilmiş. Ancak, gerçekte Einstein'ın 1932 yılında gökbilimci DeSitter ile birlikte bu kavram üzerinde yazdıkları daha ihtiyatlı. "İleride, gözlemlerin verileri daha kesin hale getirmesiyle bu sabitin işaretini ve büyüklüğünü belirleyebileceğiz".

Einstein, bu kavramı bir eğrilik olarak denklemlerine sokmuştu. Ancak, daha sonra kavram ilginç ama sorunlu bir dönüşüm geçirdi. 1930'lu yıllarda kuantum mekaniğini, Einstein'ın özel görellik kuramıyla bağdaştırma çabaları çerçevesinde önce Paul Dirac, daha sonra da Richard Feynman, Julian Schwinger ve Shinichiro Tomonaga, boş uzayın, herkesin kafasındakinden çok daha farklı ve karmaşık bir doğası olduğunu gösterdiler. Temel parçacıklar, kuantum çalkantılar nedeniyle boşluktan kendiliklerinden ortaya çıkıyorlar ve öylesine bir hızla yeniden kayboluyorlardı ki, bunları doğrudan ölçmek mümkün olmu-yordu. Ancak bu hayalet parçacıkların etkileri ölçülebiliyordu. Örneğin bu parçacıklar atomların enerji düzeylerini ve metal plakalar arasındaki kuvvetleri etkileyebiliyorlardı. Bu sanal parçacıklar konusundaki kuramsal öngörüler, deneylerle de mükemmel biçimde doğrulanmıştı.

1947 yılında da Rus fizikçi Yakov B. Zel'dovich, sanal parçacıkların enerjisinin, tam olarak kozmolojik sabitle ilişkilendirilen gizemli enerji gibi davrandığını gösterdi. Zel'dovich'in keşfinden sonra bu kavram artık modern yorumuyla bir boşluk enerjisi yoğunluğu olarak değerlendiriliyor. Ancak, boşluk enerjisinin mantığa ters gelen önerileri var. En başta da negatif basınç kavramı.

Kütleçekim kuvvetinin işareti, Yani negatif ya da pozitif olması, toplam enerji yoğunluğuyla, basıncın üç katının toplamının cebirsel bileşimi ile belirleniyor. Eğer basınç, ışınım, sıradan madde ve karanlık maddede olduğu gibi pozitifse, o zaman cebirsel bileşim de pozitif oluyor ve kütleçekim çekici özellik kazanıyor. Buna karşılık eğer basınç "yeterince" negatifse, cebirsel bileşim de negatif, kütleçekim de itici oluyor. Bunu nicel olarak belirtmek için kozmologlar basıncın, enerji yoğunluğuna olan oranına, bir başka deyişle "durum denkleminde" (w) bakıyorlar. Sıradan bir gaz için w pozitif ve gazın sıcaklığıyla orantılı. Ancak, bazı sistemlerde w negatif olabiliyor ve değeri $-1/3$ 'e düştüğünde kütleçekimi, itici hale geliyor. Boşluk enerjisi de, (yoğunluğunun pozitif olması halinde) bu koşulu yerine getiriyor. Bu da, enerjinin hiçbir zaman yok edilemeyeceğini öngören enerjinin korunumu yasasının bir sonucu. Matematik diliyle yasa şöyle yazılabilir: enerji yoğunluğunun değişim hızı, $w+1$ 'le orantılı. Tarif icabı yoğunluğu hiç değişmeyen boşluk enerjisi için, bu toplamın 0 olması gerekiyor. Bir başka deyişle, w 'nin değeri tam olarak -1 'e eşit olmalı. Yani, basıncın negatif olması.

Basıncın negatif olması ne anlama geliyor? Sıcak gazların pek çoğu pozitif basınca sahiptir. Atomların kinetik enerjisi ve radyasyon kap içinde dışarıya doğru baskı yapar. Burada dikkat edilmesi gereken, pozitif basıncın doğrudan etkisinin (itme) kütleçekimi etkisinin (çekme) tam tersi olması. Atomlar arasındaki bir etkileşimin kinetik enerjiye üstün geldiğini ve gazın dışarıya baskı yapmak yerine kendi üstüne çöktüğünü düşünelim. Bu gazla doldurulmuş bir balon, dışarıdaki basınç (0 ya da daha yüksek) içerisindeki (negatif) basınçtan daha büyük olduğu için içeriye doğru çökecektir. Yani, negatif basıncın doğrudan etkisi (içe çöküş) kütleçekimsel etkisinin tam tersi (itme) olabilir.

Bu kütleçekimsel etki, bir balon için çok küçük olabilir. Ama şimdi de, içe çökebilen gazı ba-



Hubble Uzay Teleskopu tarafından 10 milyar ışık yılı uzaklıkta belirlenen en uzak tip Ia süpernovası. Standart ışık kaynağı olarak kullanılan bu süpernovalar evrenin hızlanarak genişlediğini ortaya koyan en güvenilir kanıtlar.

lon yerine uzayın her yerine doldurduğumuzu düşünelim. Bu durumda sınırlayıcı bir yüzey ve harici bir basınç olmaz. Gazın hala negatif basıncı var; ama ortada itebileceği bir şey yok! Dolayısıyla da doğrudan bir etki uygulayamaz. Yalnızca kütleçekim etkisi -itme- var. İtme, uzay genişletir, hacmini ve dolayısıyla da boşluk enerjisinin miktarını artırır. O halde açık ki, genişletme kendi kendini güçlendiren bir eylem. Böyle olunca da evren artan bir hızla genişlemeye başlar. Boşluk enerjisi de kütleçekim alanının aleyhine büyür.

Einstein, 1917 yılında kozmolojik sabit için, evreni statik yapacak bir değer seçmişti. Ancak bu denge kararlı bir denge değildi. Kozmolojik sabit, (ya da evren genişledikçe değeri yavaşça değişen herhangi bir karanlık enerji) için basınç negatiftir ve sabittir. Bu da genişleyen bir evreni hızlandırır Çünkü madde yoğunluğu azaldıkça, negatif basınç azalmaz ve bu da evrenin üstel olarak genişlemesine yol açar. 1998 yılında gerçekleştirilen süpernova gözlemleri, negatif basınca sahip bir karanlık enerjinin varlığına işaret ediyor. Bunun anlamı da Büyük Patlama'nın verdiği itkiyle birbirinden uzaklaşan daha sonraki 7 milyar yıl boyunca uzaklaşma hızları giderek azalan gökadalara şimdiki bir-birlerinden üstel olarak uzaklaşıyor.

Kozmologlara göre, karanlık enerji adayları olarak kozmolojik sabit ve "beşinci kuvvet" diye adlandırılıp, zamana ve mekana göre değişebildi-

ği öne sürülen alternatif bir enerji türü, herhangi bir kavramsal sorun yaratmıyor. Ancak, ortada nicelemler var.

Kuantum mekaniği, boşluktan olası her dalga boyunu kapsayan eksiksiz bir sanal parçacık yelpazesinin doğabilmesini öngörür. Bilinen tüm kuantum alanlarca üretilen enerji, toplandığında sonuç sonsuza gidiyor. Fizikçiler, belirli bir dalgaboyunun altındaki kuantum etkileri gözardı ederek hesabı yenilediklerinde bile boşluk enerjisinin değeri, evrendeki öteki tüm maddede bulunan enerjinin 10'un 120 üstü gibi akıl almaz bir değere ulaşıyor. Gerçi boşluktan çıkan sanal parçacıkların evrenin enerji yoğunluğuna, negatif basınçla (ve itici kütleçekimle) sonuçlanan pozitif ve sabit bir katkı yaptıkları açık. Ama bu hesap doğru olsaydı akıl almaz düzeylere ulaşan bir hızlanmanın atomları, yıldızları ve gökadalara paramparça etmesi gerekirdi. Dolayısıyla hesabın yanlış olduğu ortada; ama kuramcılar, çeşitli çözümler önermelerine karşın, bunların hiçbirini ortadan kaldıramamış değiller.

Boşluk enerjisiyle ilgili bir başka sorun da zamanda geriye gittikçe boşluk enerjisinin (kozmo- lojik sabit) daha da paradoksal hale gelmesi. Günümüzde karanlık enerji, maddenin enerji yoğunluğunun üç katı olsa da, bu yine de kabul edilebilir bir oran. Ancak, bundan yaklaşık 14 milyar yıl önce, Büyük Patlama'nın hemen ardından bu bileşenler ortaya çıktıklarında evrenimiz bir greyfurt büyüklüğündeydi ve dolayısıyla madde bugünkünden 10'un 100 üstü daha yoğundu. Kozmolojik sabitin değerininse bugünküyle aynı olması gerekiyordu.

Birçok kuramcı bu tutarsızlıklarına rağmen karanlık enerji adayı olarak kozmolojik sabiti bir tarafa atmış değil. Sorunlarını ortadan kaldıracak kuramsal çözümler arayışını sürdürüyorlar.

Son yıllarda ortaya atılan ve giderek yandaş toplanmaya başlayan beşinci kuvvet modeliyse, zamana ve mekana göre değişen güçte bir enerji önerdiğinden ve boşluktan doğan parçacık modelini reddettiğinden, kozmolojik sabitin sorunlarından kurtulmuş görünüyor. Ancak, bu modelde de sorun, bu gizemli değişken enerjinin kaynağı.

Modelin en basit biçimi, enerjisi son derece yavaş değiştiği için ilk bakışta boşluk enerjisine benzeyen bir kuantum alanını öneriyor. Büyük patlamadan hemen sonraki şişme sürecini yöneten inflaton alanının, çok zayıf bir benzeri olarak düşünülen alandan başka, beşinci kuvvetin kendi evrenimiz dışından köken aldığı gibi yeni kuramlar ve ilave boyutlar gerektiren modelleri de var.

Derleyen: Raşit Gürdilek

- Kaynaklar
Miralda, Escude, J., The Dark Age of the Universe, Science, 20 Haziran 2003
Ostriker, J. P., Steinhardt, P., New Light on Dark Matter, Science, 20 Haziran 2003
Krauss, Lawrence M., Cosmological Antigravity, Scientific American, Ocak 1999
Ostriker, J.P., Steinhardt, P.J., The Quintessential Universe, Scientific American Ocak 2001
Kirshner, R.P., Throwing Light on Dark Energy, Science, 20 Haziran 2003
Rees M., Natarajan, P. A Field Guide to the Invisible Universe, Discover, Aralık 2003

Gökada kümesi

Gözlenebilir evren

Zaman

Referans kümesi

KARANLIK EVRENİN KADERİ

Zaman

Sürekli genişleyen bir evren için yazılan senaryoların en kötüsü kozmolojik sabit için olanı. Böyle bir evrende yaşamın kendini sürekli kılması mümkün değil. Üstelik yaşam kalitesinin de hızla bozulması sözkonusu. Dolayısıyla, evren 100 trilyonlarca yıl varlığını sürdürecektir olsa da insanlık için fazla umut yok. Kozmik genişleme, birbirlerine kütleçekimi ya da herhangi başka bir kuvvetle bağlanmamış yapıları uzaklara taşır. Samanyolu, 10 milyon ışık yılı genişliğinde bir gökadalara kümesinin üyesi. Gökadalar arasındaki uzay genişledikçe, bu küme bütünlüğünü korurken, küme dışındakiler uzaklaşır. Bu uzak gökadalara göreli hızları, uzaklıklarıyla orantılıdır. Ufuk diye adlandırılan belirli bir uzaklıktan sonra, hız ışık hızını geçer (uzayın genişlemesinden kaynaklandığı için, ışık hızını aşma yasasına genel ku-

ramı izin verir). Artık bu noktadan ötede hiçbir şey göremeyiz. Eğer evrende gözlemlerin işaret ettiği gibi, pozitif değerli bir kozmolojik sabit varsa, genişleme hızlanmaktadır. Gökadalar birbirlerinden daha da hızlı uzaklaşmaya başlarlar. Hızları, hâlâ uzaklıklarıyla orantılıdır. Ancak, orantılık sabiti zamanla azalmak yerine sabitliğini sürdürür. Dolayısıyla, ufkumuz dışındaki gökadalara, sonsuza dek göremeyeceğiz. Şimdi görebildiğimiz gökadalara bile (Yerel Küme'dekiler hariç) zamanla ışık hızına erişip gözden kaybolacaklar. Uzak gökadalara kaybolması ağır ağır gerçekleşecek. Işıkları görünmez oluncaya kadar kırmızıya kayacak. Zamanla görebileceğimiz madde miktarı azalacak ve uzay gemilerimizin ulaşabileceği dünyaların sayısı azalacak. 2 trilyon yıl içinde, yani evrendeki son yıldızların da ölmesinden

çok önce, bizim kendi kümemizdeki gökadalara dışında hiçbir cisim görmek ya da kendilerine ulaşmak mümkün olmayacak. Evrende gerçek anlamda yalnız kalacağız. Genişleyen bir evren, genişlemenin yavaşlamasına (resimde üst grup) ya da hızlanmasına (alt grup) bağlı olarak farklı biçimler alır. Her iki durumda da evren sonsuzdur. Ancak, belirli gökadalara uzaklığı temsil eden bir referans küresi ile sınırlanmış uzayın herhangi bir yeri genişlemektedir (mavi küre). İnsanlar, çevrelerindeki evrenin ancak sınırlı bir hacmini görebilirler. Çevrelerindeki uzay, sürekli genişler. Genişlemenin yavaşlaması durumunda kozmosun artan bir bölümünü görürüz. Gökyüzüne giren gökadalara sayısı sürekli artar. Ancak, genişleme hızlanıyorsa, kozmosun azalan bir bölümünü görürüz, uzay boşalıyormuş gibi olur.

SONUÇ olarak karanlık madde ve karanlık enerji, yepyeni bir bilimin ufukta şimdilik hayal meyal görülebilen yapı taşları. Silüetlerinin netleşmesi için çabalar sürüyor. WIMP'den daha duyarlı sondalar, evrenin ilk ışığının kalıntılarında, daha ayrıntılı bilgiler almak üzere hazırlanıyorlar. Yeryüzünde hazırlanmakta olan özel teleskoplar da karanlık maddenin evreni nasıl büktüğünü belirlememize yardımcı olacak. Bu arada tip 1a süpernova gözlemleri de yeni bir aşamaya girmek üzere.

Kozmik fon ışınımından olsun, süpernova gözlemlerinden olsun bu ve önümüzdeki yıllarda gelecek bilgiler, karanlık enerjinin doğasını da kesin olarak belirlememize yardımcı olacak. Fizikçiler bunu belirlemek için önce karanlık enerjinin evreni hangi şiddetle ittiğini ve bu şiddetin ölçüğünün zaman içinde değişip değişmediğini ölçmek zorundalar. Bunun anahtarı da w 'nin değeri. Eğer kozmolojik sabit senaryosunda olduğu gibi karanlık enerjinin basıncı evrenin tarihi boyunca aynı kalmışsa, w 'nin değeri

-1 olarak kalacak. Ancak, çeşitli "beşinci kuvvet" kuramlarında öne sürüldüğü gibi karanlık enerjinin özellikleri zaman içinde değişiyorsa, w 'nin değeri, 0 ile -1 arasında bir yerde olacak.

California Üniversitesi'nden (Berkeley) gökbilimci Adam Riess, Hubble Uzay Teleskopu tarafından yapılmış olan ve sonuçları henüz açıklanmamış süpernova gözlemlerinin w 'nin değerini -1 olarak "gösterir gibi" olduğunu söylüyor. Riess ayrıca, w 'nin değişip değişmediği konusundaki ham bilgilerin de çok yakında elde edilmeye başlanacağını belirtiyor.

Bu arada süpernova gözlemleri, en azından şimdilik garip bir olasılığa kapıları kapatmış değil. Dartmouth kolejinden Robert Caldwell ve arkadaşları, w 'nin değerinin daha da küçük, örneğin, -1,1", -1,2 hatta -2 olması durumunda neler olacağını merak etmişler. Şimdiye kadar öteki fizikçiler bu değerlerden kaçmışlar; çünkü kuramsal hesaplar bu değerlerde fizikçiler için "çirkin" olan sonsuzluklar üretmeye başlıyor.

Ancak Caldwell ve arkadaşları bu zorluklardan yılmamışlar. Caldwell'e göre karanlık enerji giderek daha fazla itici hale geldikçe, "ilginç" şeyler oluyor: Kozmolojik sabit ya da beşinci kuvvet senaryolarında kritik değerde sonsuza kadar genişleyen evren, karanlık enerjinin dizginleri koparması halinde korkunç bir sonla karşı karşıya kalıyor. Giderek güçlenen karanlık enerji, evrenin dokusunu da giderek daha hızlı biçimde genişletiyor ve yapılar parçalanmaya başlıyor. Yalnızca birkaç milyar yıl sonra gökadamaları dağılıyor. Sonraki birkaç yüz milyon yıl sonra da, bizim Samanyolu da dahil olmak üzere gökadalara parça parça oluyor. Güneş sistemleri ve gezegenler artan hızlarla dönerek parçalanıyorlar. Atomları elektronlarının kontrolünü yitiriyorlar. Sıradaki atom çekirdeklerinin yırtılması ve proton ile nötronların karşı konulmaz genişleme baskısı karşısında paramparça olması var. Uzay kararsız hale geliyor ve Büyük Patlama ile yaşama başlayan evren, uzay zamanının durmadan genişleyen dokusu nedeniyle tüm maddenin parçalandığı "Büyük Yırtılış" ile son buluyor.