

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

BRIAN CLEGG

Çevirenler:

Sinan Köseoğlu, Ege Can Karanfil

**KARANLIK
MADDE
ve
KARANLIK
ENERJİ**

Evrenin Gizemli %95'i Üzerine

SaY

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

Brian Clegg

Cambridge Üniversitesi'nde fizik okudu ve evrenin en tuhaf yönlerini sıradan okurun anlayabileceği hale getirmekte uzmanlaştı. www.popularscience.co.uk adresli sitenin editörüdür ve Royal Society of Arts'ın bir üyesidir. *Build Your Own Time Machine*, *The Universe Inside You*, *Dice World* ve *Introducing Infinity: A Graphic Guide* adlı kitapların yazarıdır.

Sinan Köseoğlu

İTÜ Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü'nü bitirdi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehircilik Yüksek Lisans Programı'nı tamamladı. Çeşitli yayınevlerinde editör olarak çalıştı. İngilizceden Türkçeye çeviriler yaptı. Robert Winston'un *Tanrının Öyküsü* ve *İnsan İçgüdüğü* ile Hanif Kureishi'nin *Vücut* adlı eserleri başlıca çevirileri arasındadır.

Ege Can Karanfil

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü son sınıf öğrencisidir. Ülkenin en güvenilir ve tanınmış bilim platformlarından Rasyonalist.org'da 4 yıldan uzun süredir editör ve yazar olan Karanfil, ODTÜ Fizik Topluluğu'nda da gönüllü olarak çalışmaktadır.

KARANLIK MADDE ve KARANLIK ENERJİ

Evrenin Gizemli %95'i Üzerine

BRIAN CLEGG

İngilizceden çevirenler:

Sinan Köseoğlu

Ege Can Karanfil



Say Yayınları
Popüler Bilim

Karanlık Madde ve Karanlık Enerji / Brian Clegg

Özgün adı: *Dark Matter & Dark Energy: The Hidden 95% of the Universe*

© 2019 Icon Books Ltd.

Türkçe yayın hakları Akcalı Ajans aracılığıyla © Say Yayınları

Bu eserin tüm hakları saklıdır. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılan kısa alıntılar hariç yayınevinden yazılı izin alınmaksızın alıntı yapılamaz, hiçbir şekilde kopyalanamaz, çoğaltılamaz ve yayımlanamaz.

ISBN 978-605-02-0822-1

Sertifika no: 10962

İngilizceden çevirenler: Sinan Köseoğlu, Ege Can Karanfil

Yayın koordinatörü: Levent Çeviker

Kapak ve sayfa tasarımı: Artemis İren

Baskı: Lord Matbaacılık ve Kâğıtçılık

Topkapı-İstanbul

Tel.: (0212) 674 93 54

Matbaa sertifika no: 45501

1. baskı: Say Yayınları, 2021

Say Yayınları

Ankara Cad. 22/12 • TR-34110 Sirkeci-İstanbul

Tel.: (0212) 512 21 58 • Faks: (0212) 512 50 80

www.sayyayincilik.com • e-posta: say@sayyayincilik.com

www.facebook.com/sayyayinlari • www.twitter.com/sayyayinlari

www.instagram.com/sayyayincilik

Genel Dağıtım: Say Dağıtım Ltd. Şti.

Ankara Cad. 22 / 4 • TR-34110 Sirkeci-İstanbul

Tel.: (0212) 528 17 54 • Faks: (0212) 512 50 80

internet satış: www.saykitap.com • e-posta: dagitim@saykitap.com

İÇİNDEKİLER

Teşekkür	7
1. Hiçbir Şey Görüldüğü Gibi Değil	9
2. Evreni Keşfetmek	21
3. Kayıp Madde Meselesi	39
4. Evren Ne Kadar Büyük?	89
5. Büyüme Hızlanıyor	107
6. Devam Eden Hikâye	137
Ek	153
İleri Okuma	155
Dizin	157

TEŞEKKÜR

Bu dizinin hazırlanmasına katkıda bulunan Icon Books ekibine, özellikle de Duncan Heath, Robert Sharman ve Andrew Furlow'a teşekkür ederim. Beni astronomiyle ilgilenmeye iten ilk esin kaynağım Sir Patrick Moore'a ve kozmolojiyi derslerimin en ilginç yönü haline getirdikleri için Cambridge Üniversitesi'ndeki hocalarıma özellikle teşekkür ediyorum.

HIÇBİR ŞEY GÖRÜNDÜĞÜ GİBİ DEĞİL

1

Saklı derinlikler

Evren büyük bir yerdir. Öyle büyüktür ki onu doğrudan deneyimlediğimiz hiçbir şeyle karşılaştırmamız mümkün değildir. Doğrusunu isterseniz, onun ne kadar büyük olduğunu bilmiyoruz, ama yine de, görebildiğimiz kısmının 91 milyar ışık yılı genişliğinde olduğunu söyleyebiliriz. Bir ışık yılının (ışığın bir yılda kat ettiği mesafenin) 9,46 trilyon kilometre* civarında olduğu göz önünde bulundurulursa, bu epey büyük bir mesafedir. Evren milyarlarca galaksi içerdiği ve bu galaksilerin çoğunda milyarlarca yıldız bulunduğu için uzayda çok fazla cisim olduğunu söyleyebiliriz. Buna rağmen, 20. yüzyılda evrenin doğasını anlamakta karşılaştığımız iki güçlük, bir zamanlar evrenin tamamı olduğunu düşündüğümüz uzay-zaman kesitinin evrenin yalnızca yüzde beşini oluşturduğuna işaret ediyor.

Bir zamanlar, evreni neyin oluşturduğuna ilişkin zihnimizde çizdiğimiz resim basitti. Eski Yunan filozofu Aristoteles, bu resmi çizerken doğada dört element (toprak, su, hava ve ateş) bulunduğunu varsayan mevcut bir teoriden faydalaniyor ve

* Işık yılının nasıl bir şey olduğunu kavramanıza yardımcı olmak için, bir ışık yılı uzunluğunda bir yol kat etmek istiyorsanız dünyanın çevresini 236.500.000 kez dolaşmanız gerektiğini söyleyebiliriz.

bu elementlere töz ya da esir denen bir beşinciye ekliyordu; hiç değişmeyen göğün bu beşinci elementten oluştuğunu düşünüyordu. Astronomi ve bilim ilerledikçe Aristoteles'in teorisinin kusurlu olduğu anlaşıldı. 19. yüzyılın başlarında, yıldızlarda mevcut olan elementleri tespit etmek mümkün oldu ve bunların Dünya'da mevcut olan elementlerin aynıları olduğu ortaya çıktı. 20. yüzyılın başlarında Aristoteles'in söz ettiği dört elementin yerini periyodik tabloyu oluşturan 94 doğal element aldı. Bu elementlerin her biri az sayıda temel parçacıktan, protonlardan, nötronlardan ve elektronlardan oluşuyordu.

Her ne kadar 20. yüzyılın daha sonraki safhalarında bu proton ve nötronların daha küçük bileşenlerden oluştuğu keşfedildiyse de, her şeyin bir avuç basit yapıtaşından oluştuğu şeklindeki görüş tutundu. Gelgelelim, bir dizi olay bu basit görüşü sarsacaktı. Eğer bilimin bir buyruğu varsa o da şudur: "Her şeyin sandığından daha karmaşık olduğunu aklından çıkarma." Evrende var olan her şeyin birkaç madde parçacığı, ışık ve dört kuvvetten* oluştuğu fikri zamanın sınavından geçemeyecekti. Yavaş yavaş bazı tuhaf şeyler keşfedilmeye başlandı.

Bilim çoğu zaman yanlış anlaşılır ve olguların koleksiyonu zannedilir. Olgular elbette toplanır, fakat bu pratik, bilimin özünü oluşturmaz. Amerikalı biyolog Stuart Firestein'in, *Ignorance* (Cehalet) adlı kitabında belirttiği gibi, bilim için önemli olan şey neyi *bildiğimiz* değildir: "Çalışan, çaba harcayan bilimciler olguların bataklığına saplanıp kalmazlar çünkü olguları o kadar da umursamazlar. Elbette olguları dikkate almıyor ya da önemsemiyor değildirler, ama nihai hedefleri

* Dört kuvvet kütleçekimi, elektromanyetizma, güçlü nükleer kuvvet ve zayıf nükleer kuvvettir. Güçlü nükleer kuvvet atomun çekirdeğindeki parçacıkları bir arada tutar, zayıf nükleer kuvvet ise parçacıkların dönüşümünden sorumludur.

olgular değildir. Olgulara ulaşınca durmazlar; onların işi asıl olguların ötesine geçince, olgular tükenince başlar.”

Nitekim 1933'te Fritz Zwicky adlı bir astronom evreni neyin oluşturduğuna ilişkin olguların tükenmeye başladığını fark etti.

Zwicky'nin yaramaz galaksileri

Zwicky'nin kendine özgü bir kişi olduğunda herkes hemfikir. 1898'de Bulgaristan'ın Varna kentinde, İsviçre kökenli bir işadamı ve siyasetçinin oğlu olarak dünyaya geldi. Altı yaşında akrabalarının yanında yaşamak üzere İsviçre'ye gönderildi. Einstein'ın mezun olduğu, Zürih'teki İsviçre Federal Politeknik Yüksekokulu'nda (Eidgenössische Technische Hochschule'de) matematik ve fizik okudu. Bir İsviçre vatandaşı olarak kalsa da çalışma yaşamının çoğunu, 1925 yılından itibaren Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nde çalışarak geçirdi.

Genç meslektaşı ve mevkidaşı İngiliz astrofizikçi Fred Hoyle gibi Zwicky de hayal gücünün kuvvetli oluşuyla ünlüydü, astrofizik ve kozmolojide birçok fikir orta attı. Kaçınılmaz olarak, bu fikirlerden bazıları spekülasyon olmanın pek az ötesine geçiyordu: Şartlar böyleydi. Aslına bakılırsa, 1970 kadar geç bir tarihte bile şu yorum sık duyuluyordu: “Spekülasyon yapılır, sonra daha çok spekülasyon yapılır ve sonra kozmoloji olur.” Ama Zwicky'ni bazı fikirleri kozmolojik standartlara göre bile tuhaftı.

Yine Hoyle gibi, Zwicky'nin olağanüstü hayal gücü onu etkileyici keşifler yapmaktan alıkoymadı. Alman astronom Walter Baade ile birlikte, nötron yıldızı kavramı üstünde ciddi olarak düşünecek ilk kişi oldu (nötron yıldızı, çöktükten sonra inanılmaz ölçüde yoğun bir nötron koleksiyonu oluşturan bir yıldızdır).* Böyle bir yıldızın oluşmasıyla sonuçlanan

* Atomun çekirdeğinde bulunan yüksüz parçacıklar.

patlamayı ifade etmek için “süpernova” terimini uydurdu ve birçok süpernova kalıntısı keşfetti.

Zwicky’nin bir başka önemli katkısının kökleri Einstein’ın genel görelilik kuramına uzanıyordu. Bu kuram madde ile uzay-zaman arasındaki etkileşimi tanımlar (bkz. s. 100); madde, hemen yakınındaki uzay-zamanı eğer ve bizim kütleçekimi dediğimiz etkiyi doğurur. Genel görelilik kuramı, madde ışığın içinden geçtiği uzayı eğdiği için büyük cisimlerin ışık ışınlarının eğilmesine sebep olduğunu öne sürer. Amerikalı fizikçi John Wheeler’ın belirttiği gibi, “Uzay-zaman maddeye nasıl hareket edeceğini, madde de uzay-zamana nasıl eğileceğini söyler.” Zwicky bu etkinin, eski bir optik aygıt olan merceğin doğurduğu etkiye benzediğini fark etti.

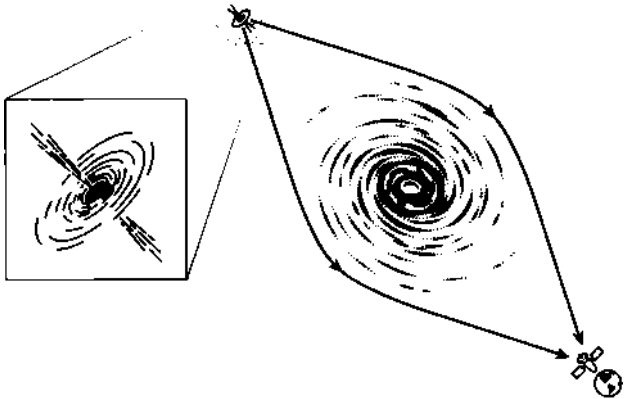
Mercekler (bu aygıtta mercimek sözcüğünün Latincesinin adı verilmiştir, çünkü şekilleri mercimeği andırmaktadır) ışığın çarptığı camın kalınlığına bağlı olarak ışığın yolunu farklı miktarlarda eğler. Mercek daire şeklinde olduğu için, ışık merceğin ne kadar kenarına vurursa o kadar çok yön değiştirir, çünkü merceğin kenarına doğru, ışık ışını ile mercek yüzeyinin yaptığı açı iyice artar, bu da merceğin kendi yüzeyine farklı noktalarda vuran ışık ışınlarını toplayıp tek bir noktaya odaklaması sonucunu doğurur.

Zwicky bir merceğin çalışma biçimini düşünerek, galaksi gibi çok büyük bir cismin, yakınından geçen bir ışık ışını üzerinde aynı etkiyi yapabileceğini kavradı. Bir galaksinin arkasında bulunan uzak bir cisimden bir ışık geldiğini hayal edin; bu ışık demetinin bir kısmı galaksinin kıyısından geçmeye çalışacaktır. Ama galaksinin devasa kütlesi her yanda ışığı içeri doğru egecek ve onu galaksinin önünde, epey uzakta bulunan bir noktaya odaklayacaktır. Eğer kendimize uygun bir konum seçersek ve ışığın imgesi galaksinin kendisinden gelen ışık tarafından paralize edilmeyecek şekilde belirirse, bu “kütleçekimsel mercek etkisi”, ışığa müdahale

eden galaksiyi sanki dev bir teleskobun merceğiymiş gibi kullanarak, çok uzaktaki bir cisim görebildiğimiz anlamına gelecektir.

Kütleçekimsel mercek etkisi, görebileceğimiz bir şeyin –örneğin bir galaksinin–, hemen yakınından geçen bir ışık ışını üzerinde kütleçekimsel bir etki yaratmasıdır. Ama Zwicky'nin en büyük keşfi, görünmeyen bir kaynaktan geldiği anlaşılan bir kütleçekim etkisiydi. Coma Kümesi olarak adlandırılan bir galaksiler topluluğunu inceliyordu.

Galaksiler çok büyük cisimlerdir. Örneğin, bizim galaksimiz olan Samanyolu ortalama büyüklükte bir galaksidir ve 150.000 ışık yılı genişliğindedir. Her biri milyarlarca yıldız barındıran galaksiler çevreleri üzerinde devasa kütleçekimsel etkiler yaparlar ve sonuç olarak diğer galaksilerle bir araya gelerek kümeler oluştururlar; onları bir arada tutan şey kütleçekimidir.



Uzaktaki bir cisimden gelen ışık bir kütleçekimsel mercek gibi davranan bir müdahil galaksi tarafından odaklanıyor.

ESA/ATG tarafından yayımlanmış bir görselden uyarlanmıştır.

Coma Kümesi bizden yaklaşık 320 milyon ışık yılı ötede bulunur ve 1000'den fazla galaksi içerir. Samanyolu'nun bulunduğu bizim galaksi kümemize (Virgo Kümesi) en yakın komşu galaksi kümesi olan Coma Kümesi, doğal olarak astronomların ilgi odağı oldu. İlgi gösteren astronomlardan biri olan Zwicky 1933 yılında kümenin hareketlerini analiz etmeye başladığı zaman tuhaf bir şey buldu. Bu kümenin bir arada durmaması gerekiyordu.

Evrendeki cisimlerin hepsi döner. Bu olguya, bizim güneş sistemimizde olup bitenlerden dolayı aşınayızdır. Dünya kendi eksenini etrafında günde bir kez döner ve (kendisi de dönen) güneşin çevresinde yılda bir kez bir tur atar. Aynı şeyi kendilerine özgü periyotlarıyla diğer gezegenler de yapar. Gezegenler, aylar, yıldızlar, güneş sistemleri, galaksiler, galaksi kümeleri, hepsi kendi eksenleri etrafında döner. Bu dönme hareketi, oluşma biçimlerinden ileri gelir. Bu cisimler gaz ve toz bulutlarından oluşmuşlar ve kütleçekim kuvveti sayesinde bir araya gelmişlerdir. Eğer bu gaz ve toz bulutları evrene kusursuz bir simetri oluşturacak şekilde dağılmış olsalardı, bir dönme hareketi oluşturamadan çökerlerdi. Ama gerçekte, bir gaz ve toz bulutunun bir yarısında öteki yarısına nazaran daha çok madde olması çok daha muhtemeldir. Madde içeri doğru çekildiği için, bu dengesizliğin sonucu tüm maddenin dönmeye başlamasıdır.

O halde Coma Kümesi'nin dönmesi sürpriz değildir. Zwicky kümenin dönme hızını kümedeki yaklaşık madde miktarıyla bir araya getirdi ve şok geçirdi. Eğer hesapları onu yanıltmıyorsa, küme o kadar hızlı dönüyordu ki, normalde her bir galaksinin bir yana fırlayıp gitmesi lazımdı; hızla dönen bir çömlekçi tezgâhına iyi oturtulmamış çamur topaklarının başına ne geliyorsa bu galaksilere de aynısı olmalıydı. Kütleçekimi, belli bir yörüngede seyreden cisimleri, ancak seyir hızları doğru ise yörüngede tutabilir. Eğer belli bir yörüngede

seyreden bir cisim fazla hızlanırsa sistemdeki “kaçış hızı”nı aşar ve uçup gider. Ve Zwicky’nin hesaplarına göre Coma Kümesi normal dönme hızının sadece biraz üzerinde değil, birkaç katı kadar hızlı dönüyordu.

Zwicky’nin tahminine göre, sistemin, kararlı kalabilmesi için 400 kat daha fazla kütleye sahip olması gerekiyordu. (Zwicky’nin zamanından bu yana bu rakam küçülmüştür, fakat küme, varsayılan mevcut madde miktarına oranla hâlâ çok hızlı dönmektedir.) Zwicky buna ancak kümede çok büyük miktarda, tespit edilemeyen maddenin bulunmasının sebep olabileceği kanısına vardı. Bu bilinmeye maddeye, “karanlık madde” anlamına gelen, Almanca, *dunkle Materie* adını verdi.

Bu denli önemli bir sonucun o zamanlar göz ardı edilmiş olması tuhaf görünebilir. Ancak, Zwicky’nin yenilikçi bir bilim insanı olarak saygınlık kazanmış olmasının kötü bir tarafı da vardı: Fikirleri genellikle dikkat çekiyordu ama fazlaca da üzerlerinde durulmuyordu. Muhtemelen, söz konusu etkinin Zwicky’nin hesapladığından çok daha küçük olduğu varsayılmıştı. Bu işlemin, her biri çok fazla sayıda yıldız barındıran en az bin galaksilik bir topluluktaki madde miktarının hesaplanmasını gerektirdiğini düşünecek olursanız, Zwicky’nin fikrinin göz ardı edilmesini bir yere koymak kolaylaşacaktır. Pek çok kestirim (yani bilgiye dayanan tahmin) yapmak gerekiyordu.

Zwicky’nin karanlık madde fikrinin o günlerde kulağa bugün olduğu denli heyecan verici gelmediği de bir gerçektir; karanlık maddenin normal maddeden tek farkının sadece karanlık olması olduğu düşünülmüş olmalıdır. Toz, düşük verimli yıldızlar, gezegenler ve gözlemlenebilir, ışık saçan maddenin yardımıyla anlaşılamayacak başka şeylerin bir kombinasyonu olduğu varsayılıyordu. Bu yeni bir kavram bile değildi; İskoç fizikçi William Thomson yani Lord Kelvin

1904'te* Samanyolu'nun dönüşüne ilişkin daha az etkileyici olmakla birlikte benzer gözlemler yapmış, galakside bulunan önemli miktarda maddenin karanlık olduğunu göstermişti. Başta 1932'deki gözlemiyle Hollandalı Jan Oort gibi başka astronomlar da benzeri sonuçlara ulaşmışlardı.

Yine de daha sonra, ışık saçmayan sıradan maddenin –tabloya egzotik kara delik kavramının eklenmesine rağmen– galaksi kümesinin bu tuhaf davranışının açıklanmasına yardımcı olacak kadar çok kütleye sahip olamayacağı anlaşılabaktı.

Genişleme ikilemi

1990'larda, küçük astrofizik ve kozmoloji dünyası ikinci bir şokla sarsıldı. Bu, 1929'da yapılan büyük buluşun zirvesine ulaşmasıydı. O sene, Amerikalı astronom Edwin Hubble galaksilerin kırmızıya kaymasına dair birtakım veriler yayımladı. Kırmızıya kayma konusuna ileride döneceğiz ama şu an onun ışık saçan bir cismin hızını tespit etmenin bir yolu olduğunu söylemekle yetinelim. Hubble'ın verileri, birkaç yakın komşu galaksi hariç tüm galaksilerin bizim galaksimiz olan Samanyolu'ndan uzaklaştığını gösteriyordu. Üstelik bu galaksiler uzaklaştıkça kırmızıya kaymaları da artıyordu, yani uzaklaşma hızları yükseliyordu. Bu ilişki bir grafiğe yansıtıldığında onu düz ama eğimli bir çizgi olarak görürüz. Bu gözleme "Hubble yasası" adı verilir. Buna rağmen Hubble kendisi bu verileri yorumlamakla fazla uğraşmamış, onları sadece toplamak onu mutlu etmeye yetmiştir.

Bu veriler o yıllarda evrenin genişlediği fikrini doğrulamak için kullanılıyordu. Biz bugün bunu sıradan bir fikir olarak kabul ediyoruz, ama o zamanlar bilinmeyen bir şey vardı:

* Fransız matematikçi Henri Poincaré Lord Kelvin'in hesaplamalarından söz ederken "karanlık madde" terimini kullanmıştı bile. Poincaré, Kelvin'in kayıp maddesine *matière obscure* diyordu.

İnsanlar bu genişlemenin ne kadar hızlı yavaşladığını bilmiyorlardı ve bunu merak ediyorlardı. Tamam, evren genişliyor ama kütleçekim etkisinden ötürü genişlemenin hızının düşmesi kaçınılmaz diye düşünüyorlardı. Genel göreliliğe göre, evrendeki tüm maddenin kütleçekimsel etkileri genişlemeye karşı koyuyor olmalıydı. Uzayın genişlemesi gitgide yavaşlamak zorundaydı.

Bu frenleme etkisinin iki muhtemel sonucu vardı. Eğer evren yeteri kadar hızlı genişlemiyorsa, bu genişleme engellenir ve evren büzülmeye başlar, büyük çatırtı (büyük patlamanın tersi) ismi takılan çok büyük bir çarpışmaya yol açardı. Eğer genişleme kütleçekiminin engelleyemeyeceği kadar hızlıysa, galaksilerin birbirlerinden uzaklaşma hızının azalması, ama asla tersine dönmemesi, evrenin, yavaşlayarak da olsa, sonsuza dek seyrelmeyi sürdürmesine yol açması gerekirdi.

1990'lara dek, uzak galaksilerin ne kadar uzakta olduğunu keşfetmenin iyi bir yolu yoktu; bu da kırmızıya kaymadan elde edilen bilgiyi galaksilerin ne kadar hızlı hareket ettiğiyle eşleştirmeyi engelliyordu. Ama o tarihten sonra, belli bir süpernova tipinin davranışının anlaşılmasına dayanan bazı yeni teknikler geliştirildi. Bu gelişmenin, uzaklığı kırmızıya kayma ile birleştirmeyi ve genişleme hızının nasıl azaldığına ilişkin daha iyi bir resim elde etmeyi mümkün kılacağı düşünüldü. 1997 yılında, iki ekip bunu ölçmek için yarışa girdiler.

İkisi de aynı anda sonuca ulaştı. Sonuç büyük bir şok yarattı. Tüm kanıtlar evrenin genişleme hızının zamanla azalmadığını, aksine, arttığını gösteriyordu. Bilinmeyen bir şey uzayın genişleme gayretine enerji katıyor, galaksilerin birbirlerinden uzaklaşma hızını yükseltiyordu. Buna neyin sebep olabileceği hakkında herhangi bir fikirleri olmayan astrofizikçiler, Amerikalı kozmolog Michael Turner'ın kullandığı bir ifadeyi ondan ödünç alarak, bu fenomene "karanlık enerji"

adını verdiler. Bu isim bize, isimlendirilen fenomenin içeriğine dair hiçbir ipucu vermez. Ona pekâlâ “X faktörü” ya da “unizap” gibi bir ad da konabilirdi.

Yeni veriler geldikçe, bu hızlanmanın vuku bulması için ne kadar enerji gerekli olduğunu tahmin etmek mümkün hale geldi. Söz konusu etki yerel ölçekte çok küçüktü. Uzayın her bir metre küpünün bu hızla genişlemesi için bir joule’den az enerji* gerekiyordu. Ama uzayın tamamı için toplam ne kadar enerji gerekeceğini hesapladığınızda devasa bir rakam ortaya çıkar. Einstein’ın aşına olduğumuz $E=mc^2$ (bkz. s. 34) denkleminin yardımıyla enerji ile kütleyi denkleştirebiliriz. Eğer gereken karanlık enerji miktarını kütleye çevirecek olursak, karanlık enerjide, evrendeki tüm bilinen ve gözle görünen maddenin 14 katı kadar, ya da sıradan madde ile karanlık maddenin toplamının iki katı kadar kütle/enerji bulunduğu sonucuna ulaşırız.

Karanlık üstün geliyor

Eğer karanlık madde ve karanlık enerji kuramları doğruysa, evrenin yaklaşık yüzde 27’si karanlık madde ve yüzde 68’i de karanlık enerjidir. Bizim doğrudan gözlemlediğimiz her şey sadece geriye kalan yaklaşık yüzde 5’ten ibarettir. Bu büyük bir meseledir. Yine de, bu fenomenlerin niteliği halen tartışılmaktadır. Karanlık madde var olmayabilir bile. Karanlık enerjinin ölçümü ölçülme biçimine bağlı olarak farklı sonuçlar verir ve –karanlık madde ile karanlık enerjiyi açıklayan kuramı saymazsak– bizim en isabetli fizik kuramımız olan kuantum mekaniğiyle çelişir. Bu da muhtemelen modern bilimin en heyecan verici yönüdür.

* Bu, çok az enerji tüketen tipik bir LED ampülün 1/5 saniye yanması için gereken enerji miktarından daha azına karşılık düşer.

Karanlık madde ve karanlık enerjinin ardında yatan bilimi anlamaya çalışmadan önce, evrenle ilgili bazı temel bilgileri edinmemiz, onu nelerin oluşturduğunu ve nasıl işlediğini öğrenmemiz gerek. En iyi başlangıç noktası, en eski bilimsel disiplinlerden biridir. Bu, dünyayı terk etmeden evren hakkında daha çok şey öğrenmemizi sağlayan disiplindir.

Uzay gemisini unut

Ben fena halde uzayın keşfedilmesinden yanayım. Bunu yapmamız gerektiğine inanıyorum. Hem öncü ruhumuzu tatmin etmek hem de dünyanın yaşanabilir bir yer olmaktan çıkması halinde kendimize bir kaçış yolu çizmiş olmak için bunu yapmalıyız diye düşünüyorum. Ama içinde yaşadığımız evreni anlamak için geleneksel keşif yöntemi kullanmak pek de pratik bir yaklaşım olmayacaktır. Bu kitabın ilk sayfalarında evrenin boyutuyla ilgili bir ifade yer alıyordu; ama bu ölçeği kavramak zordur. Gelin, bir an için, Güneş'ten sonra bize en yakın yıldız olan Proxima Centauri'yi ziyaret etmeyi planladığımızı düşünelim.

Bu yıldız yaklaşık dört ışık yılı uzaktadır. Bu, Samanyolu Galaksisi'nin 150.000 ışık yıllık çapıyla karşılaştırıldığında küçük bir mesafedir. Ama insan ölçeğine göre inanılmaz derecede uzaktadır. Dünyaya göre en hızlı seyahat eden insan bu yolculuğu Apollo 10 ile saatte 39.896 kilometre süratle gerçekleştirmiştir. Kulağa hızlı geliyor, ama bu sürat ışık hızının sadece 0,000037'de biri kadardır. Bu hızla Proxima Centauri'ye ulaşmak 100.000 yıl sürer.

O zaman, evrenin keşfinin 4 Ekim 1957'de, SSCB ilk yapay uydu Sputnik 1'i uzaya fırlattığında başladığını söylemek saf-

dillilik gibi görünebilir. Çapı 60 santimi bulmayan ve üzerine iki uzun anten iliştirilmiş bu kırılğan metal küre insanın ilk gerçek uzaya çıkma girişimini temsil ediyordu. Aslında politik bir jest olarak fırlatılan uydu az miktarda veri de sağladı. Sputnik'in 83 kiloluk kütlesi –bunun 51 kilosunu aküleri oluşturuyordu– yeteneklerinden çok daha büyük dalgalara yol açtı. Sonraki 50 yıl içinde sondaların Ay'a, Mars'a ve dış güneş sistemine ulaştığını, Ay'a insanlı yolculuk yapıldığını ve ardından Dünya'nın yörüngesinde insanlı uzay istasyonları kurulduğunu gördük.

Bununla beraber, mahallemizden dışarı çıkmaya hiç yeltenmemiş olmamıza rağmen, evreni anlama çabamıza uyduların yaptığı değerli katkıları azımsamamalıyız. En etkileyici uzay kâşiflerinden bazıları Sputnik'in doğrudan takipçileri, bilgimizi çok büyük ölçüde artırmamızı sağlayan aygıtlar taşıyan insansız uzay araçlarıdır. Hubble Uzay Teleskobu ve COBE ile WMAP uyduları gibi icatlar evreni bizim yerimize araştıran gerçek kâşiflerdir. Bu uzay araçları, geçmiş her türlü uzay uçuşundan daha geriye uzanan bir görsel keşif geleneğini sürdürmektedirler. Bu gelenek Galileo'nun teleskobundan ve Batlamyus'un gökyüzünü inceleyişinden daha eskiye, ilk insanların çıplak gözle yaptıkları gözlemlere dayanır.

Uyduların fırlatılmasında kullanılanlar dışındaki uzay gemilerinin evrenin keşfinde önemli bir rol oynamadığını söylesek abartmış olmayız. Evrenin keşfi söz konusu olduğunda, ışık başlıca vasıtamızdır. İnsanlar gözlerini göğe dikip yıldızların güzelliğini izlemeye başladığından buyana evreni bu vasıtayla keşfettiler. Çıplak gözle bakıldığında M31 (Andromeda) galaksisini Andromeda takımyıldızı içerisinde görmek mümkündür. Eğer gök yeteri kadar karanlıksa, M31 galaksisi gökte, Andromeda takımyıldızının bitişikte bir W çizen Cassiopeia takımyıldızına en yakın tarafında, soluk kirli bir leke gibi görünür. Teleskoplar göstermiştir ki, bu soluk kir-

li leke aslında devasa sarmal bir galaksidir. Gökyüzünün ilk kâşifleri arada 2,5 milyon ışık yıllık bir mesafe olmasına karşın onu çıplak gözle görmeyi başarmışlardır. Bu mesafeyi, bu satırların yazıldığı âna dek insanın uzayda kat etmiş olduğu en uzak mesafe ile karşılaştırın. İnsanın uzayda kat ettiği en uzun mesafe Ay'a giderken aldığı 375.000 kilometrelik yoldur. Bu mesafe, bırakın ışık yılını, 1 ışık dakikası bile değildir, yalnızca 1,25 ışık saniyesidir.

Dahası, *Uzay Yolu*'ndan bildiğimiz uzayı eğme teknolojisi türünden bir şey bulamadığımız sürece, ışık (ya da ışık hızıyla veya ışık hızına yakın hızla yol alan kütleçekimi dalgaları ve nötrinolar gibi denklemleri) evreni keşfetmekte kullanacağımız başlıca araç olarak kalacaktır. Işık var olan en hızlı şeydir. Işık hızının yarısı kadar büyük bir hızla seyahat edebilirsek bile (bu elbette şu an bilinen teknolojilerle yapılması düşünülemeyecek bir şeydir) Andromeda galaksisine ulaşmamız 5 *milyon* yıl sürer. Ama ışık bizim yerimize bu mesafeyi kat ettiği için Andromeda galaksisini görebiliyoruz; seyahat etmek için zaman harcamamıza gerek kalmıyor. Evrenin çoğunu bizzat keşfedemeyeceğiz, ama ışık çok çok uzakları görmemize olanak veriyor.

Galileo, çıplak gözle görülemeyen gökcisimlerini keşfetmek için teleskobunu ilk kez kullandığından bu yana çok yol kat ettik. Bugün elektromanyetik spektrumun tamamını kullanıyoruz: radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi, X-ışınları ve daha fazlası; ışık bu spektrumun sadece küçük bir segmentini oluşturuyor. Bu olağanüstü görsel keşif araçlarıyla, evreni dolduran ilginç karakterleri –kara delikleri, karanlık maddeyi, süpernovaları ve kuasarları– gözlemleyebiliyor, hatta deneyimleyebiliyoruz. Eşi benzeri olmayan keşif gezileri yapıyoruz.

İlk düşler

Gördüğümüz gibi, kozmoloji, evreni birleşik bir nesne olarak kabul eden bir bilimdir ve bu bütünü yöneten yasaların incelenmesini de içerir. Bu kozmoloji tanımı elbette “evrenin” ne olduğunu bildiğimizi varsayar. İngilizcede evren (*universe*) sözcüğünün türetildiği Latince sözcük “bir tur” anlamına gelir ki bunu bilmek de bize çok yardımcı olmaz. Evren, en küçük parçacıktan en büyük galaksiye dek, fiziksel olarak var olan şeylerin tümüdür. Bir araya toplanarak bir bütün oluşturmuş, sanki kendi çapında bir mevcudiyet kazanmış olan tüm bu madde ve enerjiyi kapsar. Bu etkileyici bir düşüncedir ve onunla ilgili sorular sormak doğaldır.

En eski zamanlardan beri, “her şeyin” nereden geldiğini açıklamak için yaratılış mitleri üretilmiştir. İnsanlar doğuştan öykü anlatıcısıdır ve yaratılış mitleri bilim değil öykü anlatımıdır. Fakat şunu anlamak önemlidir: Bu öykülere “mit” diyerek onları ya da mitleri kutsal sayanları aşağılamış olmuyoruz. Bir mit bir mesaj içeren bir öyküdür. “Neden varız?” ya da “Her şey nereden geldi?” gibi yanıtlanması zor bir soru hakkında bir enformasyon verme mekanizmasıdır. Mit tarih değildir; bizi geçmişe bağlayan bir öykü aracılığıyla bugünün gerçekliğini anlamamıza yardım etmenin bir yoludur.

İlk yaratılış mitlerinin yazarları için evren yer ile gökten ibaretti. Tüm uzam kara, deniz ve gökten oluşuyordu. Evet, yukarıda Güneş, Ay ve yıldızlar gibi birtakım tuhaf şeyler vardı, ama, hayvanlar ve insanlar nasıl yerin sakinleriyse, onlar da onlar göğün sakinleriydi. Modern kavrayış biçimimize göre, yaratılış mitlerinin mantığı biraz kafa karıştırıcı olabilir. Ama Yaratılış mitlerinin büyük çoğunluğunun ortak bir yanı vardır: bir yaratıcı. Evren hakkındaki en büyük sorulardan birine, onun nasıl varlığa geldiği sorusuna bu mitlerin hemen hepsinde birinin onu yaratması sonucu varlığa geldiği yanıtı verilir.

Bu yanıt ne akıl dışı ne de aptalcaydı. Mitlerin formüle edilmesinden binlerce yıl sonra, William Paley adında bir Victoria çağı papazı aynı savı canlı yaratıkların nasıl ortaya çıktığını açıklamak için kullandı. Eğer deniz kıyısında yürürken yerde bir saat görürseniz, onun doğal yollardan rastlantı eseri oluştuğunu düşünmezsiniz, diyordu Paley. Saat, doğal yollardan, kendi kendine oluşamayacak kadar karmaşık ve işlevseldir. Onu bir saatçinin yaptığını düşünürsünüz. Yer ile göğün karmaşık büyüklüğünü gözlemleyenlerin vereceği tepki de bundan farksızdı: “Bunu ancak biri yaratmış olabilir.”

Onlardan önce tarih sahnesine çıkmış her uygarlık gibi eski Yunanların da kendi mitleri vardı. Ama onlar, evreni anlama çabamızın öyküsünde, daha ileri giden ilk insanlar oldu. Yunanların yaklaşımının, merkezi otoritesi olmayan gevşek bir kent devletleri federasyonu halinde örgütlenmelerinin bir yansıması olduğu ileri sürülür; böyle bir siyasal örgütlenme, katı bir hiyerarşinin pek de olanak tanımayacağı sorgulayan bir felsefenin gelişmesine yol açmıştır. Yunanlar, evreni tanrıların yarattığını ve işler hale getirdiğini söyleyerek tatmin olmak yerine, MÖ 6. yüzyıldan itibaren, bu yaratıcıların kullanmış olabilecekleri pratik mekanizmaları araştırmaya başladılar.

Bir filozofun evreni

İlk hakiki Yunan filozofunun Miletli Thales olduğu düşünülür. MÖ 624 yılında doğan Thales, gözlemlediği şeylerin ardında doğaüstü değil doğal nedenler aramak gerektiğini savunuyordu. Muhtemelen ilk “bilimsel” kozmolojik yaklaşımı Thales’in öğrencilerinden Anaksimander ortaya koydu. Bu yaklaşım, evrenin ve onun yaratılışına ilişkin, fiziksel kuvvetlere ve yapılara dayandırılan, kendi içinde tutarlı bir açıklama içeriyordu. MÖ 6. yüzyılın ilk yarısı içinde, bugün

Türkiye'nin Ege Bölgesi içinde yer alan eski Yunan kenti Milet'te doğan Anaksimander tanrıların mevcudiyetine meydan okumuyordu, ancak evren görüşü basit gözleme dayalıydı.

Evrenin sudan çıktığı betimlemesini yapan birçok yaratılış mitinin aksine, Anaksimander, evrenin bir ateş denizindeki kaostan doğduğunu öne sürmeyi tercih etti. Bu başlangıcın bir avantajı vardı; filozofa, tanıdık bir doğa fenomenine gerekçe bulma olanağı veriyordu. Anaksimander gökteki ışıklara –Güneş'e, Ay'a ve yıldızlara– bir açıklama bulmak istiyordu. Kadim ateş denizinin hâlâ ötelerde bir yerlerde çalkalandığını, ama dev bir kabuğun evreni alevlerden koruduğunu zannediyordu (nedendir bilinmez ama kabuğun küre değil silindir şeklinde olduğu kanısındaydı). Kabuğun üzerinde delikler vardı ve bu deliklerden içeri ateşin ışığı sızıyor, gökteki cisimlerin parlamasını sağlıyordu. Ayrıca Güneş'in yaydığı ısı da bu ateşten geliyordu.

Anaksimander ve çağdaşları evrenin bir yapısı olduğunu düşünmüyorlardı. Yıllarca süren tartışmalardan sonra bu görüş eski Yunan filozoflarının en ünlüsü Aristoteles tarafından biçimlendirildi. Aristoteles'in, MÖ 4. yüzyılda Platon'un Akademi'sinde geliştirdiği evren modeli zihinlere öylesine sıkı sıkıya yerleşti ki, ufak tefek düzeltmeler yapılarak 2000 yıl kullanıldı. Aristoteles'in kozmolojisini pek doğru bulmuyorsanız bile, bunu aklınızdan çıkarmayın. Başka hiçbir evren modeli bu kadar uzun süre tutulmamıştır. Yanlış olabilirdi ama muhteşem bir mantığı vardı.

Aristoteles Dünya'yı evrenin merkezine yerleştirdi. Bu formülü sadece bencilliğinden bulmamıştı. Dünya orada hareketsiz duruyordu. Yerinde sabit durduğu çok açıktı; hareket ediyor olsa bunu hissedeceğimizi öne sürdü. Aristoteles, yüksekte bırakılan bir taşın, havaya doğru yükselen bir duman sütununa dek her şeyin hareketini bazı elementlerin evrenin merkezine doğru çektiğini, bazılarının ise evrenin merke-

zinden dışarı doğru uçtuğunu öne sürerek açıklıyordu. Bu hareketler iki kuvvetin etkisiyle oluyordu. Cisimleri evrenin merkezine doğru çeken kuvvet kütleçekimi, cisimleri evrenin merkezinden uzaklaştıran kuvvet ise kütleitimiydi. Eğer Dünya her şeyin merkezinde olmasaydı, ağır cisimler gökteki belli bir noktaya doğru uçardı. Yere yapışıp kalmazlardı.

Aristoteles'in modelinde, Dünya'nın çevresini iç içe geçmiş bir dizi görünmez kristal küre kuşatıyordu. İlk kürede Ay asılıydı, sonra Venüs, Merkür, Güneş, Mars, Jüpiter ve Satürn. En son da yıldızların asılı durduğu küre geliyordu. Bu, yıldızların sabit durduğu anlamına gelmiyordu, yıldızların küresi dönüyordu ve hepsi birlikte hareket ediyordu, oysa gezegenlerin hepsi ayrı ayrı hareket ediyordu (İngilizcede gezegen [*planet*] sözcüğü eski Yunanca "gezen yıldız" anlamına gelen sözcükten türemiştir).

Tanrının bu resimde hâlâ bir rolü vardı. Her küre, içindeki küreyi döndürüyordu, ama en dıştaki küreyi, yıldızların küresini döndüren ve böylece tüm evreni harekete geçiren başka bir şey daha olmalıydı. İşte bu ilk hareketi verme rolünü bir tanrı üstleniyordu. Bununla birlikte, Aristoteles'in ki yine de bilimsel bir kozmolojyidi; gerçi cisimleri hareket haline tutmak için bir tanrı lazımdı, ama olsun, evrenin ufukları içerisinde her şey tanrı katında tasarlanmış bir mekanizmanın çalışması sonucu işlevini yerine getiriyordu.

Aristoteles'in modelinde yıldızların ışığı evrenin dışından geliyor olabilirdi, ama o, işlerin bu şekilde yürüdüğünü düşünmüyordu. Aristoteles'e göre, tüm ışığın kaynağı Güneş'ti. Geri kalan her şey –Ay, gezegenler ve hatta yıldızlar– Güneş'ten gelen ışığı yansıtarak aydınlanıyorlardı. O zaman Dünya Güneş ile aralarına girdiğinde yıldızların da tıpkı Ay gibi tutulması gerektiğine işaret edilince Aristoteles Dünya'nın gölgesi Merkür'ün ötesine uzanmadığı için yıldızların tutulmadığını öne sürüyordu.

Bu evren modern gözlerimize epey küçük görünür. Dışına yıldızlar ilâştirilerek yeniden düzenlenmiş bir güneş sistemin-den ancak biraz daha büyüktü. Yine de, bir diğêr Yunan filozofu olan Arşimet'in evrenin ebatlarını ölçemeye çalıştığında keşfedeceğı gibi, Yunanistan ya da Dünya'nın başka herhangi bir yeriyle karşılaştırıldığında çok büyük bir yerdi. Bu, ileride karanlık enerjinin miktarını tahmin etmenin başlıca koşulu haline gelecek olan değeri hesaplamaya yönelik ilk ciddi girişimdi.

Arşimet sırf spekülasyon yapmak için kalkışmamıştı bu işe; ciddi bir niyeti vardı. Aristoteles'ten 100 yıl sonra doğmuş olan Arşimet çok daha pratiğê dönük düşünen bir filozoftu. Karmaşık matematik hesapları yapmaktan keyif alıyordu. Hatta kalkülüsün bazı yönlerini keşfetmeye çok yaklaştı. Çok çeşitli mekanik aygıtlar tasarladı. Bunlar arasında, yeraltından su çıkarmaya yarayan bir burgu ve ahşap gemileri yakmak için güneş ışınlarını odaklayarak o güne dek bilinen ilk ölüm ışınlarını saçan devasa bir bombeli ayna vardı.

Kum Hesaplayıcısı adlı küçük bir kitapta Arşimet evreni doldurmak için kaç adet kum tanesi gerektiğini hesapladı. Amacı, eğlenceli bir alıştıırma yapmaktan çok, sayı sisteminin nasıl büyütülebileceğini göstermekmiş gibi görünüyor. Yunan matematiğı sınırlıydı çünkü en büyük rakam 10.000 idi. Eğer gerçekten çok büyük rakamlara ihtiyacınız varsa on bin kere on bin (yani 100 milyon) rakamını kullanabiliyordunuz, ama o kadar. Arşimet 100 milyondan başlayan bir sayı sistemi tasarladı ve çok büyük miktarlara ulaştı.

Evreni doldurmak için kaç tane kum tanesi gerektiğini hesaplamak için önce evrenin ne kadar büyük olduğuna karar vermek zorundaydı; bildiğimiz kadarıyla işin ilginç kısmı da buydu. Arşimet, Dünya'nın Ay'dan, Güneş'in de Dünya'dan büyük olduğu gibi birtakım temel varsayımlardan yola çıkarak ve biraz da temel geometri bilgilerine başvurarak evre-

nin 10 milyon stad genişliğinde olduğunu hesapladı. Bu, bir stadyumun çevresinde bulunan koşu pistinin uzunluğuna eşit olan bir birimdi. Ne yazık ki bu mesafenin tam olarak ne kadar olduğunu bugün bilmek güç. 1 stad 600 ayak idi ama bir ayağın uzunluğu kentten kente farklılık gösteriyordu. Bununla birlikte, her stad 180 metre civarındaydı. Bu da demek oluyor ki Arşimet'in evreni 1.800.000.000 kilometre genişliğindeydi.

1.800.000.000 kilometrenin yaklaşık olarak Satürn'ün yörüngesiyle aynı uzunluğa karşılık geldiğini biliyoruz. Kesin sonuç veren bir ölçme işlemi yapmanın mümkün olmadığını ve yukarıda gördüğümüz gibi eski Yunanların evreninin güneş sisteminden ibaret olduğunu göz önünde bulundurursak bu hiç de kötü bir tahmin sayılmaz. Arşimet bir de, astronom Aristarkos'un Güneş'in Dünya'nın etrafında değil Dünya'nın Güneş'in çevresinde döndüğü gibi radikal bir iddia ortaya attığı bir kitap yazdığını söylüyordu. Ne yazık ki bu kitap kayıptır, o nedenle bu fikre ilişkin eldeki tek referans Arşimet'in sözleridir.

Güneşi merkeze yerleştirtince kendi geometrisi de değiştiği için Arşimet güneş sisteminin 10.000 kez daha büyük olduğu tahmininde bulundu. Evrenin çapını 18 trilyon kilometreye yükseltti. Güneş sisteminin başlıca gezegenleri bu mesafenin içinde bulunuyordu. İlk kez Aristarkos'un ortaya attığı güneşin evrenin merkezinde yer aldığı fikri daha sonra neredeyse tamamen unutuldu. 16. yüzyıla dek kabul edilen model Aristoteles'in modeliydi; ama çok geçmeden, her şeyin kusursuz küreler üzerinde hareket ettiği şeklindeki fikri astronomik gözlemlerle uyumlu hale getirmek için üzerinde birtakım değişiklikler yapılmak zorunda kalındı. Bazı gezegenler yaramazlık yapıyordu.

Eğer Aristoteles'in resmettiği şekle göre Mars'ın gökte izlediği yolu çizecek olursanız, üzerinde bulunduğu kristal

küre döndükçe onun da Dünya'nın çevresinde dönerek kesintisiz bir yol izlemesini beklersiniz. Gerçek ise çok farklıdır. Mars, geri devim denen bir hareket yapar, gökyüzünde bir ileri bir geri gidip durur ve bu hareket değişmesi mümkün olmayan kristal kürenin dönüşüne hiç uymaz. Bugün bu hareketin Mars ile Dünya'nın Güneş'in çevresinde dönmelelerinden ileri geldiğini biliyoruz. Her ikisi de farklı hızlarda, eş merkezli çember olmayan yörüngelerde seyahat ediyorlar. Sonuç olarak, Dünya'dan bakıldığında, Dünya kendi yörüngesinde ilerlerken Mars bir ileri bir geri gidiyormuş gibi görünüyor. Ama elbette Aristoteles'in modelinde bu böyle görünemezdi.

Bu garip hareketi açıklamak için, Mars gibi bir gezegenin, sadece Dünya'nın çevresinde dönmek yerine dış çember* denen ayrı bir daire çizerek seyahat ettiği öne sürüldü. Bu, sanki Mars'ı tutan kürenin yüzeyine gömülü daha küçük ve dönmekte olan bir başka kürenin daha var olduğu anlamına geliyordu. Dolayısıyla, küçük küre büyük küreyle birlikte Dünya'nın çevresinde dönerken Mars da küçük küreyle birlikte daireler çizerek seyahat ediyordu ve böylece, gözlemlenen bir ileri bir geri ya da bir aşağı bir yukarı hareketi gerçekleştiriyordu. Gelgelelim bu açıklama da gözlemlenen hareketlere pek uygun düşmüyordu; büyük kürelerin dünyanın biraz uzağındaki bir noktanın yörüngesinde döndüğünü söylemek daha doğru olurdu; bu noktaya dış merkez gibi etkileyici bir isim bulunmuştu.

Bu evren tanımı Galileo Galilei'nin zamanına dek doğru sayıldı. 1564'te doğan Galileo Galilei modern zamanlarda Güneş'i evrenin merkezine yerleştiren ilk kişi değildi. Polonyalı astronom Nikolas Kopernik yıllar önce gezegen hareketleri-

* Merkezi, daha büyük bir çemberin çevresi üzerinde hareket eden bir çember. (çev.)
Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

nin karmaşıklığını açıklığa kavuşturmak için güneş-merkezli modellerle deneyler yapmıştı. Galileo'nun Alman çağdaşı Johannes Kepler, Kopernik'in fikrini geliştirdi. Eğer gezegenlerin izlediği yörüngeler Yunanların (ve Kopernik'in) sandığı gibi kusursuz daireler şeklinde değil de basık daireler (yani elips) şeklindeyse, kendisinin gezegenlerin davranışlarını daha iyi modelleyebileceğinin farkına vardı. Eğer gezegenler, bir gezegeni Güneş'le birleştiren çizginin eşit zamanlarda aynı alanı süpüreceği şekilde hareket ediyorsa –yani gezegen, eliptik yörüngesinde, Güneş'e yakın olduğu kısımlarda daha hızlı seyahat ediyorsa– kendi gözlemlerinin gezegenlerin hareketlerinin zamanlamalarına ilişkin Danimarkalı astronom Tycho Brahe'nin yaptığı en iyi gözlemlerle boy ölçüşebileceğini de keşfetti.

Galileo, Kopernik'in sistemini, geliştirmek amacıyla o meşhur testine tabii tuttu, evrenin merkezinde Dünya'nın değil Güneş'in bulunduğu fikrine bir miktar mantık kazandırdı. Gördüğümüz gibi, eski Yunan modeli her şeyin Dünya'nın çevresinde döndüğü fikri üzerine kurulmuştu. Galileo ilkel bir teleskop yaptı ve onunla gökyüzünü inceledi. Jüpiter'in çevresinde dönen dört ay keşfetti.* Bu zaten her şeyin dünyanın çevresinde dönmediğinin kanıtıydı. Galileo'nun dinsel otoritelere karşı geldiği için cezalandırılması Güneş'i evrenin merkezine yerleştiren modelin geçerli hale gelmesini engellemeyemedi. O karmaşık ve içinden çıkılması güç dış çemberleri kaldırıp atmak insanlara çok mantıklı geldi. Bugün aşina olduğumuz güneş sistemi yapısı 17. yüzyıldan itibaren kabul edilmeye başlandı.

Yıldızlar artık bir kristal küre üzerine iliştirilmiş gökcisimleri olarak düşünülmüyordu gerçi ama bu da yeni bir sorunun

* Gerçekte Jüpiter'in çok daha fazla –79 tane– ayı vardı ama Galileo en belirgin olan dört tanesini gözlemleyebildi.

sorulmasına yol açıyordu. Eğer bir yere iliştirilmiş değillerse, orada durmayı nasıl başarıyorlardı? Ve eğer gezegenler uzayda öyle asılı duruyorlarsa, daha doğrusu asılı halde hareket ediyorlarsa, onların güneşin çevresinde dönmeyi sürdürmelerini ne sağlıyordu? Isaac Newton bunu, kütleçekimi dediği, uzaktan etkiyerek gezegenleri (ve bizi) yerinde tutan garip bir kuvvete yordu. Kütleçekiminin nasıl etkiğini de daha sonra Albert Einstein açıkladı.

Ayrıntılı açıklamalar için 20. yüzyılı beklemek gerekecek idiyse de, yeni bir tablo su yüzüne çıkıyordu. Evrenin sırları çözülmeye başlıyordu. Evrende gezegenler, yıldızlar ve daha başka birçok şey vardı. Ama bütün bunlar neydi ve nereden gelmişlerdi? Karanlık maddenin neden bu kadar önemli olduğunu anlamak için, karanlık maddenin ilk etkilerinin saptanmasından önce, evrenin oluşumu ve yapısı hakkında neler bilindiğini öğrenmek önemlidir.

Kendi güneş sistemini kur

Madde tüm evrene dağılmıştır. Bu maddenin büyük kısmı hidrojen ve helyum gazları ile tozdan ibarettir. Bu madde bulutlarının uzayda süzüldüğünü hayal edin. Hava yok. Maddeyi hareket ettirecek bir rüzgâr yok. Ama kütleçekimi var; gaz atomları ile toz parçacıkları arasında oluşan çekim kuvveti çok çok küçük olsa da, maddenin her bir parçası diğerini kendine doğru çeker. Birbirlerine görece yakın olan parçacıklar, çok uzun çağlar boyunca birbirlerine yavaş yavaş yaklaşır. Başlangıçta uzayın her yerinde sadece çok az miktarda madde olur. Ama çok uzun zaman sonra bu madde parçacıkları bir araya gelmeye başlar.

Bir miktar madde kümелendikten sonra, bu kümenin kütleçekim etkisi artar ve çevresine daha fazla gaz toplar. Yeterli miktarda madde toplandığında, çok ağır bir cisim ortaya çı-

kar. Bir araya gelen tüm bu madde kümesi gitgide yoğunlaşır. Bu cisme gitgide daha çok parçacık çarptıkça kütleçekiminin ötürü oluşan hareket enerjisi ısıya dönüşür. (Ellerinizi ovuşturduğunuzu düşünün; hareketin kinetik enerjisi sür-tünme yoluyla ısı enerjisine dönüşür.) Gitgide büyüyen küre ısınmaya başlar.

Birkaç milyon yıl süren ısınmadan sonra, küre kritik bir noktaya ulaşır. Bu aşamada üç şey birleşir ve önemli bir tepki-me meydana getirir. Tıpkı uzayda olduğu gibi küre içinde de en çok bulunan madde, elementlerin en basiti olan hidrojen olur. Hidrojen atomları (daha doğrusu hidrojen iyonları yani ısının etkisiyle elektronlarını yitirmiş hidrojen atomları) yüksek basınç altında, o ana dek milyonlarca tonluk madde içeren cismin kütleçekimi etkisiyle birbirlerine doğru çekilir. Bu gitgide büyüyen cismin merkezindeki sıcaklık hızla yükselir. Ve çok dikkate değer başka bir şey olur.

Bu hidrojen iyonları gibi parçacıklar, bir insan ya da ev ölçeğinde madde için geçerli olan kurallara boyun eğmezler ve bilinen mekanik kurallarına göre değil kuantum meka-niği kurallarına göre hareket ederler. Bu parçacıkların nasıl davranacağını belirleyen söz konusu kurallar 20. yüzyılın ilk yarısında keşfedilmiştir.* Kuantum parçacıklarının özel nite-

* Her şeyi oluşturan aşırı derecede küçük parçacıkların davranışlarının ardında kuantum fiziği yatar. Bu parçacıklar çevremizde gördüğümüz tanıdık nesnelerden çok farklı davranırlar. Kuantum parçacıklarının konum ve momentum gibi nitelikleri sabit niceliklerden ziyade bir de-ğerler aralığına sahiptir. Bu nitelikler ancak bir parçacığın başka bir par-çacıkla etkileşmesi halinde kesin değerler kazanır. Parçacığın kuantum hallerinin bir süperpozisyonunda bulunduğu söylenir; bu da demektir ki, var olan tek şey, niteliğin muhtemel değerlerin hepsine sahip olma olasılığıdır. Bu davranış, niteliklerin kesintisiz bir silsile içerisinden se-çilmekten ziyade “kuantize olmasından” yani parçalar halinde ortaya çıkmasından ileri gelir. Daha fazla ayrıntı için yazarın *Kuantum Çağı* adlı kitabına bakınız (Say Yayınları, 2016).

liklerinden bir tanesi, bir şey ile etkileşene dek nerede bulunduklarının kesin olarak belirlenememesidir. Bu yer belirsizliği, kuantum parçacıklarının, bir yerden başka bir yere aralarındaki uzayı kat etmeden sıçrayabildikleri anlamına gelir ve bu harekete kuantum tünelleme adı verilir.

Pozitif yüklü hidrojen iyonları elektromanyetik kuvvet yüzünden birbirlerini iter. Artan sıcaklık ve basınç altında bile etkileşime geçecek kadar birbirlerine yaklaşamazlar. Ama tünelleme sayesinde bu iyonların bazıları başka bir iyonla çok yaklaşabilecek kadar sıçrama yapar. Birbirlerine çok yaklaştıklarında, sadece aşırı ölçüde kısa mesafelerde etkili olan güçlü nükleer kuvvet devreye girer, iyonların birbirlerini elektromanyetik kuvvetin ittiğinden daha fazla çekmelerini sağlar. Bu limiti aşan hidrojen iyonları (kulağa biraz karmaşık gelebilecek çok aşamalı bir süreç içerisinde) yeni bir tür iyon oluşturmak üzere kaynaşırlar. Böylece helyum iyonları oluşur. Helyum periyodik tabloda bulunan bir sonraki elementtir.

Bu süreçte, küçük bir miktar kütle, enerjiye dönüşür. Kütle enerjiye dönüştüğü zaman elimize ne miktarda enerji geçtiğini söyleyen formül herhalde tarihte en iyi bilinen formüldür: $E = mc^2$. Bu formülde E enerji, m kütle ve c de ışık hızıdır (yani enerji kütle ile ışık hızının karesinin çarpımına eşittir). Işık çok hızlıdır; çok küçük miktarda bir kütle bile devasa miktarda enerji üretebilir. Bir kilogram maddeyi alıp enerjiye dönüştürecek olsanız, tipik bir enerji santralının altı yıl boyunca üreteceği toplam enerji miktarını elde edersiniz. Üstelik de bir anda. Füzyon süreci başladığında, çok büyük miktarda enerji açığa çıkar. Bu enerji boşalması elektromanyetik radyasyon –yani ışık– şeklinde olur. Bir yıldız doğmuştur.

Yıldızlar evrenin en önemli yapıtaşlarıdır. Geceleyin gökyüzüne bir bakın. Ay ve birkaç gezegenin dışında sadece yıldızları görürsünüz. Yeteri kadar güçlü teleskoplarla bakarsa-

nız milyarlarcasını seçebilirsiniz. Yansıyan ışıkla aydınlanan ay ve gezegenlerin aksine, yıldızlar evrenin lambalarıdır. Üstelik daha başka sorumluluklar da üstlenmişlerdir. Her yıldız zamanla gitgide daha ağır elementler üreten bir fabrikadır. Bazı yıldızlar, yaşlanınca patlar ve yıldızlar arasında asılı duran gazlara ağır toz kitleleri ekler.

Eğer madde bulutlarını oluşturan tek şey yıldızlar olsaydı evren yine etkileyici bir yer olurdu, ama çevrede onu görececek kimse olmazdı. Bildiğimiz türden hiçbir yaşam formu yıldızların üzerinde ya da içinde var olamaz. Bir yıldız, çevresinde bulunan maddenin büyük çoğunluğunu içine çeker –örneğin Güneş, güneş sisteminde mevcut olan maddenin yüzde 99’undan fazlasını içerir– ama civardaki maddenin önemli bir kısmı uzaydaki bu nükleer fırının içine düşmekten kurtulmayı başarır.

Zamanla bu maddenin de yıldızın içine düşmesi beklenir, ama evrendeki her şey gibi, bir güneş sistemi de oluşurken, içindeki madde kendi eksenini etrafında döner. Yıldızın çevresindeki madde, yıldızın çevresinde bir disk meydana getirir; buna “toplanma diski” denir. Bu disk içinde, yıldız oluşumuna benzer bir süreç cereyan eder. Parçacıklar birbirlerini çeker ve gitgide daha büyük öbekler oluşturur ve sonunda gezegenler ortaya çıkar. (Bir başka yıldız da oluşabilir; aslında çoğu zaman böyle olur ve iki yıldızın birbirlerinin çevresinde döndüğü bir “ikili yıldız sistemi” meydana gelir.)

İkinci, üçüncü ya da dördüncü kuşaktan bir yıldızın çevresindeki diskin bazı yerleri Dünya benzeri karasal gezegenler oluşturma eğilimindedir. Diskin daha az ağır madde içeren yerlerinde ise, şekillenecek gezegenin bileşimi daha Güneş’e benzer olacak, ama füzyon başlatmaya yetecek kadar çok madde olmayacaktır. Sonuç, Jüpiter ya da Satürn gibi, büyük ölçüde gazdan oluşmuş bir gezegen olacaktır. Her ne kadar gezegenler yıldızlar kadar çok ısınmasalar da, yeni parçacık-

ların eklenmesiyle kütleleri arttıkça onlar da aynı ısınma sürecini yaşayacak, genellikle erimiş bir çekirdek oluşturmalarına yetecek kadar ısınacaklardır. Eğer gezegende (Dünya'da olduğu gibi) ısı akışını sürdürmeye yetecek miktarda radyoaktif element bulunuyorsa, bu çekirdek erimiş halde kalmayı sürdürecektir.

O halde bunlar –gezegenler ve yıldızlar– bir evrenin orta ölçekli yapı taşlarıdır. Uzan zaman için, bunların evrenin en büyük yapı taşları olduğu düşünülüyordu, ama 18. yüzyıldan sonra, gökteki bulanık lekeler birtakım kuşkular uyandırdı. Sonunda bu lekeler galaksiler olarak bilinmeye başlandı. Bir yıldızın çevresindeki maddeyi onun içine düşmekten alıkoymayan aynı dönme etkisi olmasaydı, bir galaksiyi oluşturan yıldızlar da kütleçekimi etkisiyle zaman içinde birbirlerine yapışır ve inanılmaz derecede büyük tek bir topak oluşturlardı. Ama yıldızlar gibi galaksiler de döner ve bu dönme hareketi onları diske benzer, genellikle de sarmal bir yapıda tutar. Görünümleri, dönerek lavabonun giderinden akıp giden bir sıvıyı andırır.

Evrende daha büyük yapılar oluşturan galaksi grupları da vardır. Bunlara kümeler ve süperkümeler adı verilir. Zwicky'yi karanlık maddenin muhtemel varlığı hakkında alarma geçiren Coma Kümesi de bunlardan biridir. Ama galaksiler bize evrenin asıl yapı taşlarını vermiştir. Her şeyin merkezinde yıldızlar yer alır, gezegenler yıldızların çevresinde yer alır ve galaksiler yıldız gruplarından oluşur. Elbette evrenin başka sakinleri de vardır –onlarla daha sonra karşılaşacağız– ama madde üstünde düşünmeye başlamak ve Zwicky'nin karşılaştığı değişik maddeyi mevcut bağlama oturtmak için şimdiye dek tanıştığımız sakinler bize yeter.



**İlk başta Messier 74 olarak kataloğa eklenen, yaklaşık 32 milyon
ışık yılı uzaklıktaki Hayalet Galaksi**

NASA, ESA, Hubble Heritage (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration

KAYIP MADDE MESELESİ

3

Materyalin niteliği

Evren olağanüstü büyük bir yer olabilir, ama bilimsel açıdan bakılınca, pek az sayıda bileşenden oluşan yapısı aşırı basitmiş gibi görünür. Evrenin görebildiğimiz kısmı içerisinde 10^{80} atom bulunduğu tahmin edilmektedir. Bu rakam 1'in sağına 80 tane sıfır konularak yazılır. Fazlasıyla büyük bir sayıdır.* Bu maddenin çok büyük kısmı sadece 94 elementten oluşur. (Kimya hayranları muhtemelen yirmi element daha sayabilir, ama bunlardan burada söz etmeye değmez çünkü bunlar doğada bulunmazlar.)

Hatta bu elementlerin nasıl oluştuğuna dair mantıklı bir fikrimiz bile var. Evrendeki hidrojenin tümünün ve helyum ile lityum gibi birkaç başka çok hafif elementin, büyük patlamadan sonra, başlangıçtaki küçük aşırı sıcak evren maddenin biçimlenmesine elverecek kadar genişleyip soğuyunca ortaya çıktığı düşünülüyor. En sonuncuları demir olmak üzere ağır

* Bu hesap, evrenin görebildiğimiz kısmında 100 milyar galaksi ve yaklaşık 1 trilyon yıldız olduğu tahminine dayalıdır. (Aslında 100 milyar en düşük tahmindir; gerçek rakam çok çok daha fazla olabilir.) Bu sayı daha sonra hesaplamada kullanılan en akla yakın şekilde isabetli tahminle yani Güneş'te bulunduğu düşünülen atom miktarına karşılık gelen 10^{57} sayısı ile çarpılır.

elementler de yıldızlarda üretiliyor. Yıldızların enerji kaynağı olan nükleer füzyon daha hafif elementleri birleştirip daha ağır elementler inşa ediyor ve bu sırada enerji üretiyor.

Şu ana dek çizdiğimiz tabloda (atom numarası 26 olan) demirden ağır elementlerin bulunmaması elbette biraz can sıkıcıdır. Bu daha ağır elementlerin büyük çoğunluğu bir süpernova patlaması cereyan ettiği zaman meydana gelir: Bu büyük yıldız patlamaları daha ağır atomların oluşmasının önündeki ciddi engellerin aşılmasına yetecek miktarda enerji açığa çıkmasını sağlar. Bazı ağır atomlar aşırı yoğun nötron yıldızlarının etkileyici çarpışmaları sonucunda da ortaya çıkıyor gibi görünmektedir. 92 atom numaralı uranyumun doğada bulunan en ağır element olduğu düşünülüyordu, ama uzayda bir miktar (94 atom numaralı) plütonyum tespit edildi.

Bu sadeleştirmeyi bir başka düzeye bile taşıyabiliriz. Bütün bu atomlar, hangi elemente ait olurlarsa olsunlar, sadece dört bileşenden oluşurlar: elektronlar, "yukarı" kuarklar, "aşağı" kuarklar ve gluonlar. Her atomun merkezindeki ağır çekirdek protonlar ve nötronlar içerir. Bu protonlar ve nötronlar da hemen yukarıda sözünü ettiğimiz iki tip kuarktan ve bu kuarkları bir arada tutmaktan sorumlu parçacıklar olan gluonlardan oluşur. Ve atomun dışında, bir olasılık bulutu içerisinde, bir ya da daha fazla elektron bulunur.

Bu tabloya bir de, fotonu, tüm görkemiyle, ışığı oluşturan parçacığı ekleyin. Düşük enerjili radyo dalgaları, görülebilir ışık, yüksek enerjili X-ışınları ve gama ışınları hep bu parçacığın marifetidir. Böylece, fotonu da saydıktan sonra, evreni oluşturmak için gereken materyallerin çoğuna değinmiş oluruz.

Parçacık fiziğinin standart modeline bakarsanız (bkz. Ek, s. 153) orada çok sayıda başka bileşen parçacıklar bulursunuz. Dört adet kuark daha vardır; iki elektron benzeri parçacık, muon ve tau; üç tip nötrino; Z ve W bozonları; ve 21. yüzyılın en favori parçacığı olan Higgs bozonu. Bunların

hepsi gerçeklikte işlerin yürümesi için elzemdir. Hepsinin de varlığı tespit edilmiştir. Ama bunlar materyaller dünyasında perde gerisinde iş gören aktörlerdir. Evrenin maddesinin nasıl bir araya geldiği hakkında düşünürken bunlara çok fazla kafa yormamıza gerek yoktur.

Fakat galaksilerin bu beklenmedik dönme hareketini yapabilmesi için başka bir şey daha olması lazım gibi görünüyor; çok büyük ihtimalle standart modelin dışına taşan bir şey. Karanlık madde.

Ters bir isim bu, gerçekliği neredeyse tersine çeviriyor. Bir kere bu şey hiç karanlık değil. Karanlık olan bir madde, üzerine vuran ışığın çoğunu emer, bunun sebebi de ışık fotonlarıyla atomlardaki elektronların elektromanyetik etkileşimidir. Örneğin karanlığın en aşırı biçimi olan bir kara deliği düşünün.* Kara delik karanlıktır, çünkü onun olay ufku aşmaya çalışacak kadar budala olan hiçbir ışık ışını onun elinden kurtulamaz. Bir anlamda, karanlık madde bunun antitezidir; hiç ışık emmez, ışıkla elektromanyetik bir etkileşime hiç girmez, ama yine de ışık üzerinde kütleçekimsel bir etkiye sahiptir. Aslında karanlık madde saydam maddedir.

Elektromanyetik açıdan, karanlık madde sanki yokmuş gibidir, ama kütleçekimsel açıdan, bir şey, ona yakıştırılan etkiyi yaratmaktadır. Daha önce gördüğümüz gibi, bu etkiyi ilk kez Fritz Zwicky yorumlamış ama görüşü hemen kulak arkası edilmişti.

Bazı şeyler hemen fark edilmiyor

Zwicky'nin varsayımını ortaya koymasından bir iki yıl değil tam kırk yıl sonra karanlık madde kavramında bir iler-

* Uygulamada, kara delikler zifiri karanlık değildir çünkü çöken yıldızın içine doğru düşen madde radyasyon yayar, ama ben burada, kara deliğin kendisinden söz ediyorum. En nihayet, kara deliği en karanlık cisim yapan şey ışığın ondan kaçamamasıdır. <https://rantey.org>

leme kaydedildi. 1970'lerin başında Zwicky'ninkine benzer gözlemler daha büyük galaksilerin çevresinde dönen uydu galaksiler üzerinde yapılmıştı. Ama tavrın gerçekten değişmesi, 1960'ların ve 1970'lerin iki büyük kadın astronomunun çalışmaları sonucunda gerçekleşti. Bu kadın bilim insanları, bugün bize çok şaşırtıcı gelecek belki ama, cinsiyetleri yüzünden Nobel Ödülü'nü alamamış olabilirler.

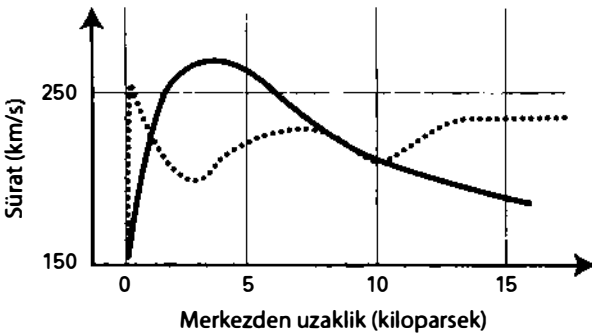
Bundan önce de, pulsarlar olarak bilinen hızla dönen nötron yıldızlarını bulan Britanyalı radyo astronom Jocelyn Bell (bugünkü adıyla Bell Burnell) Nobel Ödülü'nü alma fırsatını kaçırmıştı. Gerçekten çok kötüydü; keşfi Bell yaptı ama ödülü tez danışmanı Antony Hewish aldı. (Cambridge'de aynı departmanda çalışan Fred Hoyle bu yüzden kıyameti kopardı ama nafi.) Bununla birlikte, karanlık madde şampiyonu, yine ödülü alamayan, Amerikalı astronom Vera Rubin'di.

Rubin, 1965'te Carnegie Enstitüsü'ne girdikten sonra aygıt yapımcısı ve astronom Kent Ford ile birlikte çalışmaya başladı ve karanlık maddenin yeniden gündeme gelmesiyle sonuçlanan çığır açıcı gözlemlerini Ford ile birlikte yaptı. Ford görsel girdileri elektronik olarak güçlendiren bir aygıt imal etti. Bu aygıt bir galaksinin spektroskopik okumalarını bir gecede birkaç kez yapmayı mümkün kılıyordu. Eskiden birkaç gün süren bir işi artık bir gecede bitirmek mümkündü. Hatta çok geçmeden bir gecede birkaç galaksinin verilerini işlemek de olanaklı hale geldi. Rubin bundan önceki birkaç yıl boyunca, en yakın büyük komşumuz olan Andromeda gibi galaksilerin dönüşünü incelemiş ve çok tuhaf bir şey keşfetmişti.

Bir kompakt disk gibi katı bir disk dönerken, disk üzerindeki, diskin kenarına yakın bir nokta merkeze yakın bir noktadan daha hızlı yol alır. Böyle olması kaçınılmazdır, çünkü disk üzerindeki nokta diskin kenarına ne kadar yakın olursa belli bir zaman aralığında o kadar fazla yol almak zorunda

kalır. Galaksi gibi daha gevşek bağlantılara sahip bir madde topluluğunda, merkezden farklı uzaklıklarda bulunan materyallerin katı bir disktekiyle aynı örüntüyü takip etmemesi mümkündür. Biz genellikle bir süre sonra galaktik diskin şöyle bir dönüş örüntüsü benimsemesini bekleriz: Diski oluşturan yıldızlar galaksinin merkezinden ne kadar uzakta bulunuyorlarsa, hızları, başlangıçta süratle arttıktan sonra, o kadar fazla kesilecek ve durma noktasına geleceklerdir. Bu, Newton'un kütleçekim yasasının tahmin ettiği standart bir davranış olan "dönme eğrisi" ile sonuçlanır.

Rubin ve Ford, Andromeda'yı gözlemlerken, beklenmedik şekilde, galaksinin merkezden uzak kısımlarının merkeze yakın kısımlarının dönüş hızına yakın hızlarda döndüğünü fark ettiler. Bunun en bariz nedeni, her nasılsa, galaksinin dışında küresel biçimde dağılmış, hale olarak bilinen, çok miktarda madde bulunması olabilirdi. (Bu, kafa karıştırıcı bir terim olabilir, çünkü biz haleleri ortasında bir delik olan yassı diskler olarak düşünürüz, ama bu hale daha çok ortası oyuk bir topa



Samanyolu'nda merkezden farklı uzaklıklarda bulunan yıldızların hızları. Kesintisiz çizgiyle gösterilen eğri teorik tahmini, kesintili çizgiyle gösterilen eğri gözlemi yansıtır.

Kaynak: Creative Commons image CC BY-SA 3.0.

Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <https://fantezy.org>

benziyordu.) Andromeda o zamana dek teleskoplarla iyiden iyiye incelenmişti; görünen maddeden oluşan böyle bir halesi yoktu. Zwicky gibi Rubin de karanlık maddenin bıraktığı izi bulmuştu: Bir şey galaksinin dönüşüne kütleçekimsel bir etkide bulunuyordu.

Kafaları karışan Rubin ile öteki astronomlar başka galaksilerle ilgili veri toplamaya başladılar ve her vakada benzer bir etki tespit ettiler. Dahası, tıpkı Zwicky'nin kümeleri gibi, bu galaksilerin de, eğer sadece görünen madde içeriyor olsalar dağılıp gitmelerine yetecek kadar hızlı döndüğünü keşfettiler. Rubin galaksilerin görünen maddenin altı kadar madde içerdiği tahmininde bulundu.

Karanlık madde kavramı destekçi buldukça, Zwicky'nin galaksileri mercek olarak kullanma fikri, işin içinde umulmadık bir şey mevcut olduğunu göstermek için başvurulacak ek bir metot olarak yardıma çağırıldı. Kütleçekimsel mercek etkisi arttıkça, elde edilen sonuçlar çeşitlenecekti. Nasıl ki daha kalın bir merceğin odak uzunluğu daha fazla oluyorsa, bir galakside çok daha fazla miktarda madde olması da, örneğin, mercek vazifesi yapan galaksinin, kendi çevresinde orijinal kaynağın birden fazla görüntüsünü oluşturma eğilimine daha fazla gireceği anlamına gelir. Kütleçekimsel mercek etkisine dair ölçümlerin kullanılması karanlık maddenin varlığını başka şekillerde de destekledi.

Yine de karanlık madde bugüne dek bir gizem olarak kaldı. Ne'den yapılmıştı? Maddenin geleneksel bileşenlerinden –kuarklardan ve elektronlardan– oluşuyor olamazdı, çünkü bu parçacıklar elektromanyetik etkileşime *giriyorlardı*. Karanlık madde evrenin derinliklerinde parlamadığı için göremediğimiz sıradan madde de olamazdı, çünkü bu madde karanlık maddenin davrandığı gibi davranmazdı. Öyleyse, başka ne olabilirdi? Alternatifler nelerdi?

Karanlık ne?

Karanlık maddenin tam olarak ne olduğu tespit etmek için birçok girişim yapılmıştır. Başlıca iki düşünce silsilesi üretilmiştir: Birincisi, karanlık maddenin, zaten standart modelin parçası olan (ama her nasılsa sıradan maddenin bileşimini oluştururken davrandıkları gibi davranmayan) bilindik parçacıklardan oluştuğunu öne sürer. İkincisi, karanlık maddenin standart modeli genişletmemizi gerektiren egzotik parçacıklardan oluştuğunu iddia eder.

Karanlık maddeyi açıklamaya standart modelin içinden aday gösterilen parçacık nötrinodur. Bu, 1930 yılında, yani doğrudan tespit edilmesinden tam 26 yıl önce, var olabileceği hayal edilmiş bir parçacıktır. Nötrinoların kararsız radyoaktif elementlerin beta bozunumu olarak bilinen dönüşüme uğramaları sonucu ortaya çıktıkları tahmin ediliyordu. "Beta" terimi, bir atomun kendi dışına elektron yaymasını anlatır. Eskiden, radyasyonun alfa, beta, gama ışınları adlı üç kategoriye ayrıldığı ve bu üç tür radyasyonun her birinin kendilerine özgü çok farklı nitelikleri olduğu düşünülüyordu. Daha sonra, radyoaktif atomlardan yapılan bu yayımların, sırasıyla, helyum çekirdekleri, elektronlar ve yüksek enerjili fotonlar olduğu tespit edildi.

Atom çekirdeğinin çevresinde elektronlar bulunur, bunu biliyoruz, ama beta bozunumu sırasında atomun dışına bir elektron yayan, çekirdeğin kendisidir. Bugün artık biliyoruz ki, bu söz konusu elektron, zayıf kuvvet denen bir doğa kuvvetinin atomun çekirdeğindeki bir nötronu bir protona dönüştürmesi ve böylece bu atomu başka bir elemente çevirmesi sırasında ortaya çıkar ve etrafa yayılır. Elektronun negatif yükü çekirdekteki pozitif yüke karşılık gelir. Nitekim 1930'da Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli olanları açıklamak için elektronun tek başına yeterli olmadığını fark etti.

Her ne kadar elektron yük değişimiyle ilgili olsa da, atomun korunması gereken diğer nitelikleri değişiyordu. Özellikle, atom enerji kaybediyor, momentum ve dönü* değişiklikleri geçiriyordu. Tıpkı elektrik yükünü dengelemek için elektronun gerekli olması gibi, dönüyü dengelerken kaybolan enerjiyi ve momentumu uzaklaştırmak için de başka bir parçacık gereklidir. Yeni parçacığın elektrik yükü olmaması gerekir, bu yüzden Pauli kendi varsayımsal parçacığına nötron adını vermiştir.

Bununla birlikte, 1932'de İngiliz fizikçi James Chadwick çekirdekteki nötr maddenin proton ile aynı kütleye sahip, nötron adını verdiği yüksüz parçacıklardan oluştuğunu keşfetmişti. Bunlar çok açık ki aynı şeyler değildi çünkü Pauli'nin varsayımsal parçacığının neredeyse hiç kütlesi yoktu. İtalyan fizikçi Edoardo Amaldi yurttaşı Enrico Fermi'ye, Pauli'nin parçacığına, nötron sözcüğüne İtalyancadaki küçültme eki getirilerek nötrino (yani nötroncuk) ismi verilmesinin uygun düşeceği fikrini verdi. Çok geçmeden Fermi beta bozunumu teorisini tamamladı ve nötrino ismi yerleşti.

Nötrinolar ele avuca sığmayan tuhaf parçacıklardır. Ele avuca sığmazlar çünkü maddeyle neredeyse hiç etkileşmezler. Elektromanyetizma ile hiç ilgileri yoktur (bu size bir mesaj veriyor mu bilmem), bu yüzden de görünmezdirler. Güneş'teki nükleer reaksiyonlar öyle çok nötrino üretir ki her saniye bir elinizin içinden trilyonlarca nötrino geçer, fakat elektromanyetik etkileşime girmedikleri için sizin üzerinizde bir etkileri

* Dönü (*spin*) bir kuantum parçacığının niteliğidir. İsim yanıltıcıdır, çünkü burada normal bir dönüşten bahsedilemez. Bir parçacığın "dönü" değerinin büyüklüğü ancak $\frac{1}{2}$ 'nin katları kadar olabilir ve ölçüldüğünde yalnızca "aşağı" ve "yukarı" sonuçlarını verir. Ölçümden önce parçacık muhtemelen iki halin, yani "aşağı" ve "yukarı" hallerinin bir süperpozisyonunda bulunacak, başka deyişle, her iki halde de bulunması ihtimali söz konusu olacaktır.

yoktur. Tespit edilmeleri o denli zordur ki, gördüğümüz gibi, mevcut olduklarına dair çok kuvvetli kanıtlar bulunsa bile, tespit edildikleri, 1956 yılına dek ilan edilmemiştir.

Nötrinoların tespit edilmesi olanaksız gibi görünüyor olabilir, ama sadece ara sıra başka parçacıklarla etkileşirler. Nötrino dedektörleri genellikle eski maden ocaklarının en dibindeki galerilere kurulur. Bu tercih, dedektörleri öteki, daha belirgin parçacıkların etkisinden korur. Nötrinolar sanki dünya orada değilmiş gibi onun içinden rahatça geçtikleri için, diğer parçacıkların aksine bu dedektörlere çok kolay erişirler. Yeraltındaki galerilere yerleştirilen dedektörler dev sıvı tanklarından oluşur. Bu sıvı, su ya da kuru temizlemede kullanılan tetrakloroetilendir. Nötrinoların neredeyse tamamı yine bu tankın içinden geçip gider, ama çok az sayıda nötrino, ya bir molekülde tespit edilebilecek bir değişime sebep olarak ya da sıvının çevresindeki hassas farklı dedektörler tarafından algılanan ışık patlamalarına sebep olarak, sıvıyı oluşturan parçacıklarla etkileşir.

1960'larda nötrinonun tek bir parçacık olmadığı, her biri bir başka parçacıkla ilişkili üç farklı "çeşni"de geldiği keşfedildi: Söz konusu parçacıklardan biri elektron, diğer ikisiyse elektron benzeri parçacıklar olan müon ve tau idi. Bu, Güneş'ten nötrino akışını tespit etmeye yönelik ilk girişimlerde elde edilen tuhaf sonuçları açıklamaya yardımcı oldu. Güneş'in saçtığı nötrino miktarı tahmin edilebilir, ama ilk dedektörler Dünya'ya varan miktarın yalnızca üçte birini tespit edebiliyordu. Bu dedektörler yalnızca elektron nötrinoyu saptayabiliyor ve Dünya'ya varmış olması muhtemel parçacıkların üçte birini toplayamıyordu.

Herhangi bir anda hangi tip nötrinonun Dünya'ya varacağı tabii ki belli değildi. Nötrinoların salınım denen bir süreçten geçebildiği ortaya çıktı. Yolculukları esnasında üç parçacıktan biri diğer iki parçacıktan birine dönüşüyordu. Bu noktaya

dek, neredeyse tüm kanıtlar nötrino'nun tıpkı foton gibi hiç kütlesi olmadığına işaret ediyordu. Ama nötrino salınımının nasıl bir şey olduğuna dair tasavvur edilen tek mekanizma, parçacığın çok küçük de olsa bir kütlesi olmasını gerektiriyordu. Ölçek hakkında bir fikir edinebilmeniz için, pek ağır sıklet bir parçacık sayılmayan elektronun kütlesinin bir nötrino'nun kütlesinin yaklaşık 4 milyon katı olduğunu belirtelim. (Elbette çeşnilerin kütlesi biraz da olsa farklılık gösterir.)

Nötrinoların kütlesi olduğu göz önüne alındığında, ki bu da kütleçekimsel bir etkileri olduğu anlamına gelir, elektromanyetik etkileşimde bulunmamaları, onları hemen karanlık maddenin gizemli parçacığı olmaya aday hale getirir. Ancak, hâlâ bazı problemler mevcuttur. Bugün nötrinoları saptamakta oldukça iyiyiz, ama yine de, bugüne dek yapılan saptamalar, bize, karanlık maddenin işini görebilmesi için gereken türden bir hale dağılımı olduğunu düşündürmüyor. Bir de nötrinoların çok sıcak olması meselesi var.

Bugünkü standart karanlık madde modeli "soğuk" karanlık maddeden söz eder. Bu terim parçacıkların hızı ile bu parçacıklardan yapılmış bir cismin sıcaklığı arasındaki ilişkiyi yansıtır. Bir gaz ne kadar sıcaksa, onu oluşturan parçacıklar da ortamda o kadar hızlı hareket eder. Erken evrenin bariz konfigürasyonuna bakarsak, karanlık madde parçacıklarının yavaş hareket etmeleri gerektiği sonucuna varırız. Yavaş olmazlarsa galaksiler gibi yapıların oluşmasına yardım edemezler; parçacıklar kütleçekiminin onları bir arada tutamayacağı denli hızlı, çok hızlı hareket ederlerdi. Sıcak hale diye bir şey yoktur.

Ancak, aslında nötrinoların ışık hızına çok yakın hızlarda yol alan çevik küçük parçacıklar olduğu ortaya çıkmıştır. Bunu böyle ifade etmek bile onları azımsamak gibi görünür. 2011 yılında bilimciler OPERA adlı bir deney yürüttüler; Cenevre yakınlarındaki CERN'den 730 km ötede bulunan İtal-

ya'daki Gran Sasso'ya nötrinolar gönderdiler ve bu çevik parçacıkların ışıktan hızlı yol aldığını keşfettiklerini duyurdular. Basında hemen bu keşfin Einstein'ın ışık hızına sınır koyan özel görelilik kuramını tehlikeye attığına dair çılgınca spekülasyonlar yapıldı. (Nedendir bilinmez, basın Einstein'ın yanlış çıkma olasılığını eskiden beri sevmiştir.) Fakat çok geçmeden bu sonucun, kablo bağlantısındaki bir kusurun ve fazla hızlı çalışan bir saatin neden olduğu bir yanılgı olduğu ortaya çıktı. Yine de nötrinolar ışık hızına çok yakın bir hızda yol alıyorlardı.

"Sıcak" olmaları onları bir kenara bırakmamız için yeterli bir sebep değildir. Devasa -hızlı hareket eden nötrinoları büyük miktarlarda yakalayabilecek kadar büyük- galaksi kümelerinin daha önce oluşmuş, sonra da galaksilere ayrılmış olması mümkündür. Galaksi kümelerinin mi yoksa tek tek galaksilerin mi önce oluştuğunu bulmak için, madde ilk kez biçimlenirken evrenin nasıl görüldüğünü bilmemiz gerekir. Ne şanslıyız ki, kozmik mikrodalga arka plan ışıması denen bir şey bize bu görüntüyü verir.

Radyasyon her yerden geliyor

Teleskoplar zaman makineleridir. Işık yol alırken bir hız limitine tabi olduğu için (en fazla saniyede 300.000 km sürat yapabilir) bir nesne ne kadar uzaktaysa biz onu gördüğümüzde o kadar geçmişe doğru bakmış oluruz. 2,5 milyon ışık yılı uzaktaki Andromeda galaksisine baktığımız zaman onun 2,5 milyon yıl önceki halini görürüz.

Prensipte, yeteri kadar iyi bir teleskopla, bakabileceğimiz en uzak mesafe 13,5 milyar yıl ötededir. Evren tam 13,5 milyar yıl önce, atomlar oluşmaya başladığında saydam hale gelmiştir. Ondan önce madde elektrik yüklüydü ve her geçen ışık ışını emiyordu. Evren saydamlaşır saydamlaşmaz onu

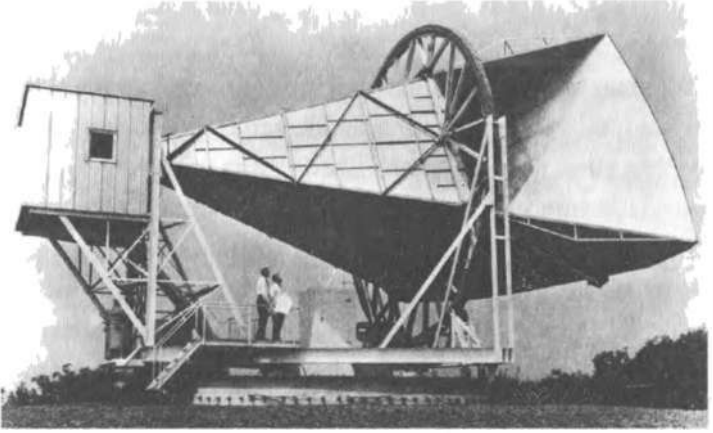
boydan boya kat eden ışık hâlâ görünüyor. Bu ışık, aşırı yüksek enerjili ışık fotonları olan gama ışınlarından oluşuyordu. Ama bu ışık yayıldığı andan bu yana geçen milyarlarca yıl içinde bir şey oldu: Evren genişledi.

Unutmayın ki, büyüyen uzayın kendisidir. Büyürken, içinden geçen ışık üzerinde etkide bulunacaktır. Eğer ışığı dalga olarak düşünürseniz ve ışığın içinde yol aldığı uzay genişliyorsa, o zaman ışık da akordeon gibi genişleyecektir. Bu durumda dalga boyu uzayacak, ışık kırmızıya kayacaktır.* Ve ışık ne kadar uzun süre yolculuk ederse, evren de ışığın yola çıkma anından itibaren o kadar çok genişleyecek, kırmızıya kayma o kadar artacaktır.

Aşırı yüksek enerjili ve kısa dalga boylu ışık olan şey, aşama aşama X ışınlarına, mor ötesi ışınlara, görünür ışığa, kızıl ötesi ışınlara ve en sonunda da mikrodalgalara dönüşmüştür. Bu en sonuncusu fotonların görünür ışık fotonlarından çok daha az enerjiye sahip olduğu bir ışık türüdür su moleküllerinin hareketlenmesi için gerekli ve yeterli enerji miktarına sahip olduğu için ona aşınayız; ayrıca mikrodalgaların görünür ışıktan çok radyo dalgaları ile ortak yönü vardır. Bu, mikrodalgaları, örneğin bir parça yiyecek gibi, içinde su olan bir şeyi ısıtmak için harika bir seçenek yapar, bu nedenle mikrodalga fırınlar yapılmıştır.

1965'te, New jersey Holmdel'deki Bell Laboratuvarlarında iki araştırmacı, astronomi ile ilgili faaliyetler yürütmek üzere Tellstar iletişim uydusundan gelen sinyalleri almak için tasar-

* Işık bir kuantum fenomenidir; ona dalga muamelesi de yapılabilir (fizik derslerinde ışığın size bu şekilde anlatılmaya çalışıldığını anımsayacaksınız), foton denilen ışık parçacıkları topluluğu muamelesi de; bu konuya daha önce değinmiştik. Işığı foton akımı olarak düşünmeyi tercih ederseniz, uzayın genişlemesinin fotonların enerjisini düşürdüğünü ve bunun yine kırmızıya kaymayla sonuçlandığını gözlersiniz.



Wilson ile Penzias'ın kozmik mikrodalga arka plan ışımasını kaydetmek için kullandığı Holmdel anteni.

NASA

lanmış bir anteni kullanmaya çalışıyorlardı. O zamana kadar, yıldızların sadece görünür ışık vermekle kalmayıp, radyo dalgaları dahil geniş bir elektromanyetik frekans bandı ürettikleri de keşfedilmişti. Robert Wilson ve Arno Penzias Samanyolu'nun kıyılarından gelen radyo sinyalleri arıyorlardı, ama bunun yerine ilginç bir hışırtıyla karşılaştılar. Üstelik bu hışırtı evrenin her yönünden geliyordu. Bu, oldukça tuhaftı.

Sinyal, eski analog televizyonlarda kanal aranırken alınan hışırtılı parazite benziyordu; aslını söylemek gerekirse, bu görsel parazit ve hışırtının bir kısmı Wilson ile Penzias'ın aldıkları sinyalin aynısıydı. Bu radyo astronomlar önce, bir süre, antenlerine Dünya kökenli bir parazitin takıldığını zannettiler. Bu, radyo astronomide sık karşılaşılan bir sorundu; birkaç kilometre ötede çalışan arızalı bir elektrikli süpürge motoru kolaylıkla böyle bir sinyal üretebilirdi. Ama Wilson ile Penzias dikkatli analizler sonucunda sinyalin, kendi ekipmanlarından ya da yakın çevrelerinden gelmediğini ve anteni

göğün hangi yönüne çevirseler aynı şiddette olduğunu tespit ettiler.

Bu gizemli sinyalin antenin içinde biriken kuş pisliklerinden kaynaklanabileceğinden de kuşkulanıyorlardı çünkü bir güvercin ailesi antenin hunisi içinde yuva yapmıştı (deney raporunda örtmeceye başvurularak kuş pisliklerinden “beyaz yalıtkan materyal” olarak söz ediliyordu). Güvercinleri uzaklaştırıp metal yüzeyleri temizlediler ama hışırtı kesilmedi. Wilson ile Penzias ancak böyle bir sinyal arayan bilimcilerle konuştuktan sonra neyle karşı karşıya olduklarını anladılar. Alıcılarına takılan mikrodalgalar yaklaşık 370.000 yaşındaki evren saydamlaştığı zaman serbest kalan ışığın kalıntılarıydı.

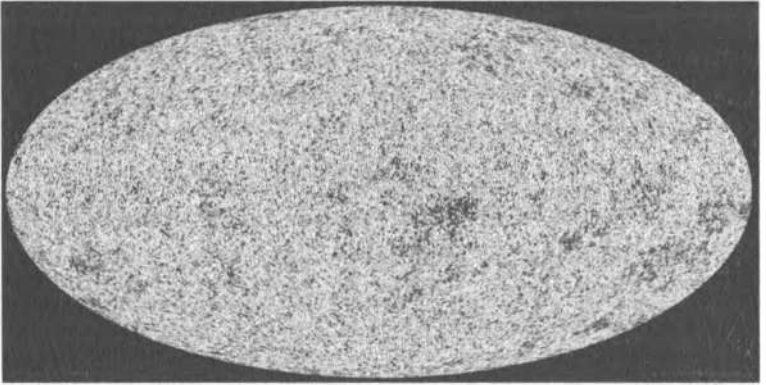
Bu “kozmik mikrodalga arka plan ışıması” büyük patlamanın yankısı olarak adlandırılıyordu. Radyasyonun büyük patlamadan yaklaşık 370.000 yıl *sonra* meydana gelmiş bir olayın kalıntısı olduğu göz önüne alınacak olursa, bu oldukça tumturaklı ve isabetsiz bir adlandırmaydı, ama yine de bize evrenin en erken halini olabildiğince doğru anlamamızı sağlıyordu. Bu radyasyon bizi ışığın görmemize izin verdiği kadar eskiye götürür. Prensipite, yine de daha ileri gidebiliriz. Büyük patlamadan yaklaşık bir saniye sonra evren daha önce tanıştığımız bir parçacığa, nötrinoya geçit verecek kadar saydamlaşmıştı.

Bir nötrino dedektörü Güneş’in epey ham bir görüntüsünü oluşturmak için çoktan kullanılmıştır; bu, ilk nötrino teleskopudur. Görüntü, adeta nötrinoların maddeyi pek az umursadıklarını göstermek istercesine, Dünya’nın iç kesimlerine yerleştirilmiş bir dedektör kanalıyla kaydedilmiştir. Ama nötrino dedektörlerini daha etkili şekilde çalıştırabilseydik bu kozmik nötrino arka plan ışımasını evrenin varlığa geldiği ilk saniyeden itibaren tespit edebilirdik. Benzeri iddialar uzayın yapısında mevcut olan kütleçekimi dalgalarını tespit etmeye yönelik daha yeni imkânlar için de ortaya atılmıştır.

Yine de řu an için bilgilerimiz mikrodalgaların bize evrenin büyük patlamadan 370.000 yıl sonra ne durumda olduğunu anlatan görüntüyle sınırlıdır.

Wilson ile Penzias tarafından kullanılan ilkel radyo teleskop gibi dedektörler devreye girdiğinde görölmüştür ki, kozmik mikrodalga arka planı çok pürüzsüzdür, her yönden, özdeş sinyaller üretir. Bu, sinyalin büyük patlamanın kalıntısı olarak tanımlanmasının sebeplerinden biridir, çünkü bu radyasyonun her yönden aynı miktarda gelmesi beklenir. Ancak günümüze daha yakın zamanlarda kozmik mikrodalga arka plan ışınmasını çok daha ayrıntılı biçimde inceleme imkânı bulduk ve sinyalin yoğunluğunda çok küçük değişiklikler tespit ettik.

Bu yeni radyasyon örüntüsü COBE, WMAP ve Planck uyduları aracılığıyla elde edilmiştir. COBE'nin geçmişi 1989 yılına dek uzanır. WMAP 2001'de, Planck 2009'da fırlatılmıştır. Bu uyduların her biri kozmik mikrodalga arka planına ayrıntılı varyasyonlar eklemiştir. Sonuçlar, üretilen görüntülerde



Planck uydusundan alınmış kozmik mikrodalga arka plan örüntüsü.

ESA/Planck Collaboration.

etkileyici şekilde ortaya çıkar, ama netlik seviyesi çok artmıştır. Gerçek varyasyon 100.000'de 1 civarındadır, sabit arka plan seviyesinde küçük değişiklikler söz konusudur.

Uydulardan alınan basık yumurta biçimli görüntülere baktığınızda, gördüğünüz şeyin ne olduğunu anlamak zordur. Radyasyon örüntüsünün erken evrenin oluşumundaki küçük varyasyonlar olduğu ve bunların da galaksilerin biçimlenmesiyle sonuçlandığı düşünülmüştür. Eğer bu doğruysa, gördüğümüz şey, embriyo halindeki evrenin ultrason taraması ile elde edilmiş görüntüsünün bir eşdeğeridir; çok önemli bir görüntüdür.

Bu veri, kozmologların nötrinoları karanlık maddeyi oluşturmaya aday parçacıklar arasından elemelerini sağlamıştır. Evrenin ilk konfigürasyonuna dair sağladığı bakış açısı, eğer karanlık madde sıcaksa, önce dev yapıların oluştuğunu ve sonradan parçalandıklarını düşündürmemektedir. Bunun yerine, evren önce küçük ölçekli yapılar oluşturmaya başlamış görünmektedir ve bunun için de soğuk karanlık madde gereklidir.

Üstelik, kozmik mikrodalga arka planı da karanlık maddenin (ya da aynı etkiyi üreten başka bir şeyin) varlığına dair galaksilerin ve galaksi kümelerinin davranışının yanı sıra başka bir delildir. Evrenin çok erken aşamalarında, radyasyon ilk kez ortaya çıktığında, hâlâ bol miktarda, elektrik yüklü (iyonlaşmış) sıradan madde mevcut olmalıydı. Bu madde arka plan radyasyonu ile kuvvetli şekilde etkileşime girerdi, ama mevcut herhangi bir karanlık madde bunu yapmazdı. Sonuç, karanlık madde - sıradan madde oranına bağlı olarak farklı olurdu.

Bu fark evrendeki karanlık madde ağlarının oluşumunu belli bir süre içerisinde canlandıran bilgisayar simülasyonları yapılarak tahmin edilmiştir. Bu simülasyonlar evrenin evrilirken nasıl yapılandığını modelleme yönünde gerçekleştiri-

len daha büyük bir girişimin parçasıdır. Bu simülasyonlar ilk kez 1980'lerde dört astronom –zaman zaman “dörtlü çete” olarak da adlandırılan George Efstathiou, Simon White, Carlos Frenk and Marc Davis– tarafından yapılmış, Illustris ve IllustrisTNG projeleri tarafından geliştirilerek günümüze dek sürdürülmüştür.

Radyasyonda tespit edilen değişiklikler, galaksiler ve galaksi kümeleri üzerinde yapılan gözlemlere bakılarak var olduğuna inanılan karanlık madde oranlarının gerçekten var olması durumunda beklenen değişikliklerle çok benzerlik taşımaktadır.

ZEMP'ler ve MSHC'ler

Nötrinoların elenmesinden sonra, geri kalan karanlık madde parçacığı adaylarına ZEMP'ler (WIMPs) ve MSHC'ler (MA-CHOs) gibi esprili adlar verildi. Bu kısaltmaların açılımları sırasıyla şöyledir: “Zayıf Etkileşen Masif Parçacıklar” (“Weakly Interacting Massive Particles” [WIMPs]) ve “Masif Sıkı-şık Hale Cisimleri” (“Massive Compact Halo Objects” [MA-CHOs]) (MSHC'lere gerekçe bulmak için epey mücadele edilmiş gibi görünmektedir.)

MSHC'ler karanlık maddeye muhtemelen en aşikâr çözümlerden birini sunar: Karanlık madde aslında bildiğimiz sıradan maddedir ama tıpkı Fritz Zwicky'nin zihninde canlandırdığı gibi onu gözümüzle göremeyiz o kadar. Uzaydaki toz bulutlarından kara deliklere kadar evrenin her yerinde bu maddeden bol miktarda mevcuttur. Gelgelelim MSHC'lerin aleyhine ileri sürülen kanıtlar da güçlüdür.

Karanlık madde için ileri sürülen savlardan biri, erken evrende, sıradan elementlerle açıklanamayacak kadar çok miktarda madde olmasıdır; ama eğer karanlık madde görünmeyen sıradan maddeden başka bir şey olmasaydı, bu dengesiz-

lik vuku bulmazdı. Ve bu karanlık maddenin neden sıradan maddeden oluşan galaksi diskleri değil de küresel haleler meydana getirdiğini anlamak zordur.

Buna rağmen, MSHC'leri, hemen yakınlarından geçen ışığı eğen kütleçekimi mercekleri olarak davranış biçimlerine dışarıdan bakarak tespit etme girişimleri yapılmıştır.

Ama anlaşılan odur ki, evrende, karanlık maddenin yaptığı etkiyi açıklayacak cinsten yeteri kadar çok sayıda karanlık konvansiyonel cisim yokmuş gibi görünmektedir. Başka sorunlar da mevcuttur, zira, MSHC'nin yaptığı katkının büyük kısmını açıklayacak kara delikler sadece görece büyük yıldızların çökmesiyle oluşmaktadır ve karanlık maddenin dağılımı pek çok durumda bu tür büyük kütle yoğunlaşmalarını olanaksız kılmaktadır.

Bununla birlikte, teoride, başka tip bir kara delik olabilir: ilksel kara delik. Bunlar, yıldızların çökmesiyle oluşmaktan ziyade, maddenin ilk kez oluştuğu, büyük patlamadan sonra meydana gelmiş, maddeyi kara delikler oluşturacak şekilde sıkıştırabilecek kadar şiddetli uzay-zaman salınımlarının vuku bulduğu evrenin ilk günlerinde varlığa gelmiş olabilirler. Bunlar her büyüklükte olabilir, kütlesi bir gramı bile bulmayan mikro kara delikler bile olabilirler.

Böyle kara deliklerin farklı dağılımlarını modelleyerek, 0,06 ila 1 Güneş kütleli görece hafif kara deliklerin karanlık maddeye yorulan etkilerin en azından bir kısmını üretebilecekleri öne sürülmektedir. Yine de, bir uyarı babında, Berkeley'deki California Üniversitesi'nde 2018'de yapılan bir araştırmada 740 süpernova incelenmiş ve ilksel kara deliklerden kaynaklanan kütleçekimsel mercek etkileri gözlenmeye çalışılmıştır. Ulaştıkları bulgu şudur: Mevcut karanlık maddenin yüzde 40'ından fazlası kara deliklerden oluşamaz ve muhtemelen de karanlık madde kara deliklerden oluşmaktadır.

O halde, diyebiliriz ki, şu ana dek böyle kara deliklerin var olduğuna ya da karanlık madde etkisi doğurduklarına dair herhangi bir kanıt bulunamamıştır, ama bazı noktalarda LIGO kütleçekimi dalga dedektörünün bu sıra dışı ölçüde küçük kara deliklerin birleşmelerini tespit etmek için kullanılabileceğine dair birtakım iddialar da mevcuttur. Eğer işe yararlarsa, karanlık maddeyi tespit etmek için oynanan ve kuralları sürekli değişen oyunun oynandığı masada tekrar yerlerini alabileceklerdir. Yine de şu an için MSHC'ler ZEMP'lere yol vermek durumundadır.

Ürküp kaçmak

Karanlık madde parçacıklarını bulmak için yürütülen araştırmanın çoğu safhasında başlıca aday olarak görülen Zayıf Etkileşen Masif Parçacıklar, ilk bakışta, gözlenen fenomene bir isim takmaktan başka bir işe yaramıyormuş gibi görünür. Ne de olsa, tanımı gereği, karanlık madde sıradan madde ile zayıf bir etkileşime sahiptir ve kütleçekimsel bir etki doğurabilmeleri için parçacıklar kütleye sahip olmak zorundadır. Bununla birlikte, teorisyenler olayın bu “masif” yönüyle ilişkili daha özel bir fikir üretmişlerdir. Bir ZEMP'in nötrinolar gibi, neredeyse tespit edilemeyecek kadar küçük bir kütleye sahip olması gerekmez, ama daha topak topak olması gerekir ve bu topaklanmanın özellikle de Higgs bozonunun çevresinde cereyan etmesi gerekir.

Higgs bozonu 2012 ve 2013 yıllarında CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'na medyanın çok ilgi göstermesine sebep olan parçacıktır. Higgs bozonu, çoğu zaman diğer parçacıklara kütlesini veren parçacık olarak tanımlanır, ama bu yanıltıcı bir tanımlamadır. Bilimcileri Higgs bozonunu araştırmaya yöneltten teori evrende ek bir alan daha olmasını, yani elektromanyetik alan gibi daha aşina olduğumuz bir alandan

başka bir alan daha olmasını gerektirir. Tespit edebildiğimiz parçacıkların bazılarına kütlelerini veren şey işte bu "Higgs alanı" ile kurulan etkileşimdir. Eğer bir Higgs alanı varsa, bu alandaki bozulmalar olan Higgs bozonları olmasını da bekleriz ve CERN'de tespit edilen de bu bozulmalardır.

Higgs bozonunu tespit etmenin uzun zaman almasının nedenlerinden biri teorisyenlerin deneycilere nereye bakmaları gerektiğini söyleyememesiydi; Higgs bozununun ne miktarda bir kütleye sahip olduğunu bilmiyorlardı. Bununla birlikte, önünde sonunda eleme yöntemiyle olasılıklar azaltıldı ve Higgs bozununun 125 GeV* civarında bir kütleye sahip olduğu keşfedildi. Bu, atom çekirdeğindeki parçacıklar olan proton ve nötrondan 100 kat daha büyük, ufak bir atomunkine yakın bir kütleydi.

Madde ilk kez biçimlendikten sonra genç evren soğurken vuku bulduğu düşünülen süreçler, karanlık madde parçacıklarının aşağı yukarı bu miktarda bir kütleye sahip olduğunu akla getiriyordu. Etrafta çok miktarda enerji varken çok ağır parçacıklar ve denkleri olan antiparçacıklar oluşabiliyor, ve yok olurken de enerjiye dönüşüyorlardı. Ama evren soğuyunca her yerde büyük kütleli parçacıklar üretecek kadar çok enerji kalmadı.

Geriye kalmış olması muhtemel farklı kütleli parçacık miktarlarına dayanılarak yapılan hesaplamalara göre, evrende karanlık madde etkisi üretmek için gereken karanlık madde parçacıklarının görünürdeki yoğunluğu Higgs bozonuna benzer kütlede parçacıklar koleksiyonunun varlığına işaret etmektedir.

* Giga elektron volt yani milyar elektron volt. Parçacık fizikçileri parçacık kütlelerini elektron volt/ c^2 (c ışık hızı) cinsinden ifade eder, ama genellikle, kütlelerindeki enerjiye işaret ederek, onları sadece elektron volt (eV) olarak ifade ederler.

Higgs bozonunun keşfi hiç kuşkuyla yer bırakmayacak şekilde göstermektedir ki, bu büyüklükte kütleyle sahip parçacıklar üretmek için gerekli olan enerji miktarı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda mevcuttur. Bununla birlikte, yıllarca süren araştırmalara rağmen, çarpıştırıcıda karanlık madde parçacığına benzerlik gösteren herhangi bir şey bulunamamış, kozmik ışınlar (dış uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklar) incelenirken de buna benzer başka bir şeye rastlanmamıştır. Bu deneylerde, avlanan parçacık doğrudan tespit edilebilen bir şey değildir. Bunun yerine deneylerde, hedef parçacığın bazı etkileşimlerinin enerjisinden doğan başka parçacıklar saptanmıştır.

Bu ikinci nesil parçacıklar $E=mc^2$ formülünü anlamayı gerektiren bir mekanizmayla üretilirler. Daha önce gördüğümüz gibi, Einstein'ın formülü enerji (E) ile kütlesi olan madde arasındaki doğrudan bağlantıyı gösterir. (" c " ışık hızıdır.) Enerji maddeye, madde enerjiye dönüştürülebilir. Maddeyi enerjiye dönüştürmenin en basit yolu maddeyi antimadde ile çarpıştırmaktır.

Atılğan'ın enerji kaynağı olarak seçilmesinden de anlaşıldığı gibi daha çok bilim-kurgu yazarları arasında popüler olmasına rağmen antimadde gerçekten de vardır. Her madde parçacığının, başka elektrik yükü olmak üzere karşıt niteliklere sahip bir antimadde dengi mevcuttur. Bir madde parçacığı ile antimadde ikizi bir araya geldiklerinde, madde, ışık fotonları olarak enerjiye dönüşür. Aynı şeyin madde ile karanlık madde için de geçerli olup olmadığı tartışılmaktadır.

İtiraf etmeliyiz ki burada bir "eğer"ler zinciri karşımıza çıkar. Eğer antikaranlık madde varsa ve karanlık madde ile antikaranlık maddenin bir araya gelmesinden doğan enerji çevreye sıradan madde/antimadde parçacıkları saçıyorsa bu parçacıkları tespit edebilmemiz gerekir. Eğer sıradan madde/antimaddenin yok olması sonucu ortaya çıkan enerjiyi

oluşturan madde parçacıkları arasında bulmayı beklediğimiz şeylerin yanı sıra daha başka şeylerle de karşılaşırıysak o zaman bunlar belki de karanlık maddeden geliyordur.

Burada karanlık madde parçacıklarının Higgs bozonu *olduğunun* varsayılmadığına dikkat ediniz. Karanlık maddenin bu miktarda kütleyle sahip geleneksel atomlardan oluştuğı da öne sürülmüyor; böyle atomların her biri öteki madde ile ele avuca sığmaz karanlık madde parçacıklarından daha farklı şekilde etkileşime girerdi. Bunun yerine, umutlar süpersimetri adı verilen bir parçacık teorisine bağlandı. Bu teoriye göre, bilinen tüm parçacıkların daha masif partner parçacıkları olması gerekir.

Parçacık fiziğindeki başarılı standart modelde parçacıklar iki tipe ayrılır: fermiyonlar ile bozonlar. Her iki parçacık tipi çok farklı davranır. Madde parçacıkları olarak düşünölebilecek fermiyonlar kuarkları, elektronları ve onların daha ağır denkları olan nötrinoları içerir. Bu parçacıklar dip dibe bulunmayı pek sevmezler: Pauli dışlama ilkesi olarak bilinen bir kural aynı parçacığın iki tanesini tam olarak aynı halde aynı yere koyamayacağınıızı söyler. Modeldeki diğer parçacık setine bozonlar denir. Bunlar kuvvetleri taşıyan parçacıklardır, aralarında, elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı olan fotonlar bulunur; fotonlar aynı zamanda ışığı oluşturan parçacıklardır. Bozonlar fermiyonlardan çok daha sokulgandır; bunlardan istediğiniz kadar çoğunu aynı yere toplayabilirsiniz.

Maddeyi oluşturmak için bu kadar parçacık yeter de artar gibi görünüyor, ama birçok teorisyen daha çok parçacık olmasını umuyor. Şu an birbirleriyle uyumsuz görünen kuantum teorisi ile genel görelilik teorisini birleştirmeye çalışan sicim teorisinin destekleyicileri yukarıda sözü edilen süpersimetrik parçacıkların var olmasını umuyorlar. Bunların var olması sicim teorisinin varyantlarının çoğunun işe yaraması için şart. Süpersimetri bildiğimiz her parçacığın karşıt türden “süper-

simetrik partneri" olan bir denginin bulunduğunu söylüyor. Her fermiyonun (isminin önüne bir "s" konarak tanımlanan) bir bozon partneri, her bozonun da "ino" ile biten bir fermiyon partneri olmalı.

Böylece, örneğin, bir kuarkın süpersimetrik bozon partneri bir skuarktır ve bir fotonun süpersimetrik fermiyon partneri de bir fotinodur. Henüz hiçbir süpersimetrik partner parçacık bulunamamıştır. Teorisyenler yapının "güzelliği"ni sevmektedirler, ama onun var olduğuna dair deneysel bir kanıt bulunamamıştır. Bununla birlikte, eğer varsa, süpersimetrik parçacıkların en hafifi olduğu tahmin edilen nötralinoların karanlık maddenin ardında yatan parçacıklar olabileceği öne sürülmektedir.

İsmine bakarak, bir nötralinonun nötr yüklü bir bozonun fermiyon süpersimetrik partneri olmasını bekleyebilirsiniz; evet öyledir, ama –tam dört farklı çeşidi olan– nötralino tek bir bozonun partneri olmayıp nötr bozonların süpersimetrik partnerlerinin kuantum hallerinin karışımından doğar: foton, Z parçacığı ve Higgs ile fotino, zino ve higgsino. Bir kez daha belirtmek gerekirse (tüm sicim teorisinde olduğu gibi) elde bu kavramı destekleyen deneysel kanıt bulunmamaktadır. Buna rağmen nötralinolar teorisyenlere çekici gelmektedir, bunun başlıca sebebi de evrenin doğumuyla birlikte ortaya çıktığı tahmin edilen nötralino miktarının evrende bulunduğu tahmin edilen karanlık madde miktarıyla gayet iyi örtüşmesidir.

Hem bu işe vakfedilmiş bir uydu tarafından hem de Uluslararası Uzay İstasyonu'nda yürütülen deneyler aracılığıyla karanlık maddenin/antikaranlık maddenin yok oluşundan geriye kalanları avlama çabalarına rağmen hiçbir şey gözlemedi. Bu deneyler bize yeni bir şey söyledi, ama söylediği şey sadece evrendeki konvansiyonel maddeyle ilgiliydi. Örneğin, gama ışınları gözlem uydusu Fermi galaksimizin merkezinden gelen beklenmedik ölçüde yüksek radyasyon

seviyeleri tespit etti. Fakat karanlık maddeyle ilgili bir çıkar-sama yapmak için bu tür bir veriyi kullanmak uzaylıların teknolojisinin nasıl olacağı hakkında spekülasyon yapmak için bir UFO görüntüsünü kullanmaya benzer. UFO'nun bugüne dek tespit edilmemiş mükemmel bir sıradan uçan cisim olması çok olasıdır ve bunun bize uzaylılar hakkında bir şeyler öğretebileceğini varsaymakla uğraşmak bilim değil bilim kurgu olur.

Öyle görünüyor ki ZEMP'lerin deneylerde ortaya çıkmasını sağlamadaki başarısızlık sürpriz olmamıştır; ne de olsa karanlık madde sadece kütleçekimi yoluyla etkileşime girer ve kütleçekimi öyle zayıftır ki tekil parçacıklar bu yolla tespit edilemezler. Ancak ZEMP'ler bu tür bir mirasa sahip oldukları için mevcut iseler, çarpıştırıcılarda üretilmeleri ve yukarıda bahsedildiği gibi bozunmaları sonucunda ortaya çıkan ürünler sayesinde tespit edilmeleri icap eder. Ama tespit edilememişlerdir. Benzer şekilde uzayın bu uçan parçacıklarla dolu olduğu göz önüne alındığında, –nötrinolar gibi– sıradan madde ile ara sıra girdikleri etkileşimleri arayan deneylerde doğrudan tespit edilmelerini bekleriz. Ancak tespit edilememişlerdir.

ZEMP avcıları

Kesin konuşmak gerekirse, ZEMP'lerin varlığına dair kanıtlar hiçbir zaman etkili şekilde doğrulanmamıştır, ama tespit edildiklerine dair iddialar ortaya atılmıştır. Bu karanlık madde parçacıklarını doğal ortamları içinde tespit etmek için birtakım deneyler tasarlanmıştır. Bu dedektörlerden bazıları Dünya'nın içinden geçen karanlık madde parçacıklarının direkt kanıtlarını aramaktadır. Nötrino deneylerindeki gibi, kazara başka parçacıkların toplanmasını engellemek için bu aygıtlar da yerin derinliklerine kurulmuştur. Bilimciler, baş-

ka durumlarda etkileşime girmeyecek parçacıkların karıştığı beklenmedik çarpışmalar aramaktadır. Bu çarpışmaların sonuçları ya SQUID denen süperiletken aygıtlar ya da sintilasyon dedektörleri kullanılarak kaydedilir.

SQUID'ler (Superconducting Quantum Interference Devices yani Süperiletken Kuantum Parazit Aygıtları) genellikle manyetik alandaki çok küçük değişimleri tespit etmek için kullanılan Josephson bağlantı noktası adındaki bir kuantum yapısından faydalanır. Bu aygıtlar sıcaklığa çok duyarlıdır; işleyebilmeleri için aşırı düşük sıcaklıkta tutulmaları gerekir. Eğer civarda bir karanlık madde parçacığı çarpışması olursa, bu olayın çok küçük miktarda ısı üretmesi gerekir, bu da süperiletkenliğin kısa süre aksamaması için yeterli olur.

Sintilasyona bel bağlayan dedektörler, çarpışmalar sonucu meydana gelen küçük ışık çakmalarını algılar. Bu çakmalar aygıtı dolduran sıvı içindeki bir elektrona enerji verir. Sonra elektron bir ışık fotonu fırlatır ve enerjisi eski, her zamanki seviyesine geri döner. Mevcut iki teknolojidен birinin kullanıldığı bu deneylerin büyük çoğunluğu, birkaç yanlış alarmı saymazsak, bir bulguya ulaşmakta ısrarla başarısız olmuştur.

İlk örneklerden biri CDMS (Cryogenic Dark Matter Search yani Kriyojenik Karanlık Madde Araştırması) ve onun ardılı, Berkeley'deki California Üniversitesi'ndeki Parçacık Astrofiziği Merkezi'nden ayrılarak faaliyet göstermeye başlayan ve daha sonra süpernova araştırmalarına girişecek bir organizasyon olan CDMS II idi (bkz. s. 113). Bu deney nötralinolar ile atom çekirdeği arasında ender olarak cereyan eden çok küçük etkileşimleri tespit etmeye çalışıyordu. Stanford Üniversitesi'nde yerin yirmi metre altına yerleştirilmiş ilk dedektör yeteri kadar iyi korunmadığı için yararlı veri sunamayacak kadar çok sayıda sıradan etkileşimi algılıyordu. CDMS II (ve onun takipçisi SuperCDMS), daha sonra devreye giren başka birçok karanlık madde dedektörüyle birlikte, olabildiğince

çok sayıda istenmeyen doğal parçacığı uzak tutmak için eski bir maden kuyusuna (bu kez Minnesota'da, yerin 750 metre altına) taşındı.

2007 yılında, geliştirilmiş CDMS iki ay arayla bir çift etkileşim tespit etti. Ne yazık ki, bunların ZEMP etkileşimleri olduğunu kanıtlamak mümkün olmadı. DAMA denilen bir rakip deney düzeneği daha çok sayıda sonuç elde etti. İtalya'daki Gran Sasso dağının 1400 metre altına kurulmuş bir sintilasyon dedektörü olan DAMA 1995 yılından beri birkaç kez gözlemcilerin karanlık madde parçacığı olabileceğini iddia ettiği bazı şeyler tespit etti, ancak başka kimse onların bulgularına benzer bulgular elde edemedi. DAMA kurnazlık ederek rakiplerinininkinden farklı bir dedektör kullandığı için rakipler muhtemelen bir şeyleri kaçırıyordu, ama kısa süre önce, ABD, Birleşik Krallık ve Güney Kore tarafından Güney Kore'de 2016 yılından bu yana yürütülen COSINE adlı bir deney düzeneğinde DAMA'nınkiyle aynı yaklaşım kullanıldı. DAMA'nın tespit ettiği şeye dair şimdiye dek bir doğrulama gelmemiş olması, bu deneyin karanlık maddenin varlığını kanıtlamış olması ihtimalini ortadan kaldırıyor.

Bu, başka bir şeyi değilse de, bu ultra-duyarlı aygıtlardan alınan verilere ilişkin yanlış okumaları elemenin ne kadar zor olduğunu gösteriyor. Bu deneylerde kullanılan ekipmanların aranan parçacıkları göremediğini göz önünde bulundurun. Araştırmacıların elindeki tek tutamak noktası dedektördeki bazı parçacıkların birer çarpışmaya karışacak olması. Bu çarpışmaya neden olabilecek başka tüm faktörler elenirse, bu olayın sebebi muhtemelen bir atom çekirdeğine bir karanlık madde parçacığının çarpması ve küçük bir enerji patlamasının yaşanmasıdır. Ama şu "başka tüm faktörler elenirse" koşulunun gerçekleşmesini, çevre kayalardaki doğal radyoaktivite ya da eski dostlarımız nötrinolar gibi etmenler engelleyebilir.

Marifet, dedektörleri yeraltına koymakta olduğu kadar, yanlış etkinlik türünü elemek ve karanlık maddenin faaliyeti ayırt etmekte de gösterilmeliydi. Bazen düzeneği parazitlen korumak için sergilenen çaba göze çok tuhaf görünebiliyordu. Bir dedektörde, eski bir Fransız kalyonunun gövdesinden sökülen kurşun kaplamalar kullanılmıştı. Kurşun konvansiyonel radyasyonu durdurmakta başarılı olan bir malzemedir ve geminin gövdesinden sökülen kurşun plaka, eski olduğu için, kendi doğal radyasyonunu yitirmek ve böylece üreteceği arka plan parazitini azaltmak için zaman bulmuştu. Düzgün şekilde dağılmadığı için, karanlık maddenin diğer radyasyondan ayırt edilebileceği umuluyordu, Dünya ve güneş sistemi kendi yörüngelerinde hareket ettikçe periyodik yükselmeler ve alçalmalar olması gerekiyordu; ama bunlar henüz gün ışığına çıkmadı.

2019 yılı başlarında Davis'te California Üniversitesi'nden bir grup bilimci başka kimse bunu benzer ya da daha hassas ekipmanla yapamazken DAMA'nın ara sıra bazı parçacıklar tespit etme konusunda sergilediği inatçı beceriye olası bir açıklama getirdiğini ileri sürdü. Eğer bu doğruysa, ışıktan hızlı yol alan sahte nötrinolar durumunda olduğu gibi (bkz. s. 48) suç ortağı teknik bir arıza olmalıydı. DAMA dedektörü her iki ucunda foto-çoğaltıcı tüp adlı –aslında hafif yükselteç olan– bir aygıt bulunan 25 silindirik sintilatörden oluşuyordu. Davis ekibi foto-çoğaltıcıya az miktarda helyum bulaşmasının yukarıda sözü edilen asılsız tespitlere yol açabileceğini keşfetti.

DAMA okumaları yaz ile kış mevsimleri arasında değişir, bu da akla iç radyasyondan ziyade karanlık madde gibi dışsal bir kaynağı getirir. Ancak, helyum radonun radyoaktif bozunumu ile diğer jeolojik süreçler sonucu üretilir ki bunların da yıl boyu sabit kalan bir çıktı üretmek yerine yıl içinde değişiklikler göstermesi beklenir. Bulaşma ile karanlık maddeyi

birbirlerinden ayırt edecek bazı teknikler ortaya atılmış, ama bunlar henüz kullanılmamıştır. Bu satırlar yazılırken (2019) en son yapılan deneyler arasında, DAMA gibi İtalya'daki Gran Saso Ulusal Laboratuvarında yürütülen XENON1T ve Çin'in Sichuan eyaletindeki Jinping Yeraltı Laboratuvarında hayata geçirilen PandaX deneylerinde bazı sonuçlar elde edildiği duyuruldu. Bu deneylerin her ikisinde de sıvı ve gaz halde Xenon içeren bir odaya yerleştirilmiş bir sintilatör kullanılıyordu. Oybirliğiyle, hiçbir şey bulunamadığı söylendi. XENON1T düşük bir arka plan düzeyi kaydedildiğini ilan etti (aslında alternatif parazit kaynaklarını öncellerinden daha iyi elemiştir); bu, karanlık maddenin saptanamamış olduğunu daha da kesinleştiriyordu. Bir süre için önerilmiş olan ama şimdi üzerinde daha ciddi durulan bir alternatif yaklaşım, karanlık madde çarpışmalarının "fosil" kalıntılarını aramaktır. Fikir şudur: Yeraltında oturup karanlık maddenin çarpmasını beklemektense, zaten çok uzun zamandır orada duran minerallere bakalım ve materyalde karanlık madde parçacıklarının çarpmasından ileri gelen bir değişimi saptamanın mümkün olup olmadığını görmeye çalışalım; çünkü bazı durumlarda bu değişimin çarpmadan ötürü oluşan atomik geri tepme sonucu ardında bir iz bırakması gerekir.

Yeraltında fosilleşmiş çarpma kalıntıları arama fikri, manyetik tekkutupluların* etkisini saptamaya çalışmak için bir takım deneylerin yürütüldüğü 1980'lere dayanır; bu çabalar boşa çıkmıştır. 1990'ların ortalarında benzeri bir yaklaşım,

* Bilinen tüm mıknatısların iki kutbu varken, manyetik tekkutuplular tek bir manyetik kutbu (sadece kuzey ya da güney kutbu) olan varsayımsal parçacıklardır. Sicim teorisi gibi bazı teoriler tekkutupluların var olması gerektiği tahmininde bulunsalar da bunlar hiç gözlemlenmemiştir. Elektromanyetizmayı açıklayan standart Maxwell denklemleri manyetik tekkutupluların var olmadığını varsayar, ama eğer bulunacak olurlarsa, denklemler onları içine alacak şekilde genişletilebilir.

karanlık madde çarpması sırasında geri tepen potasyum atomu kalıntılarının mika mineralinde aranmasını önerdi. Bu kalıntıların sıradan radyasyon ya da bahçe radyasyonundan kaynaklanan benzer çarpmalardan ayırt edilebileceğine inanılıyordu. Bu düşünce hiç denenmedi, ama İsveç, ABD ve Polonya'da çalışan araştırmacıların 2018'de yazdığı bir makalede yeniden gündeme getirildi.

Yeni girişim öteki minerallere göz attı: kayatuzu (yemek tuzu yani sodyum kloritin başka bir çeşidi), epsomit, olivin ve nikelbiskofit. Şimdiye dek tüm araştırmacıların yaptığı bu materyalleri kullanarak dedektörlerin hassasiyetine dair tahmin yürütmek, ama bunların kullanıma girip girmeyeceği meçhul. Öteki dedektörlerden geçersiz sonuçlar geldiği için, yeni yatırımlar yararsız bulundu. Prensipte bu fosil kalıntı yaklaşımından daha hassas sonuçlar almak mümkün olsa bile, yatırım gereksiz bulunuyordu.

Her ne kadar ZEMP'ler karanlık madde parçacıkları olmaya en popüler adaylar olsa bile, onları bulmada başarısız olunması ve bu gözlemleri destekleyecek MSHC verileninin temin edilememesi teorisyenleri çok daha egzotik bir alternatif parçacık hayali kurmaya itti.

Aksion daha beyaz yıkar

Önde gelen bir başka karanlık madde parçacığı adayı da aksiondur. Bu parçacığın ismi iyi bir sebepten ötürü kulağa bir deterjan ismi gibi gelir. Aslında ona bir Colgate-Palmolive marka bulaşık deterjanının ismi verilmiştir. Ama aksion birkaç teorisyenin favorisidir. Bu varsayımsal parçacıklar kuantum fiziğindeki bir garipliği açıklamak için çok daha önce düşünülmüştür (şimdiye dek onların varlığını doğrulayan deneysel bir kanıt bulunmamış olması şaşırtıcı değildir). Eğer var olsalardı sınırlı miktarda etkileşime girerlerdi, küçük kütleli (nöt-

rinolardan bile hafif) olurlardı ve sayıları çok fazla olurdu. Ama karanlık madde davranışının başka yönleri de vardır ki, bu alanlarda aksionların bir çözüm olarak kabul edilmelerini güçleştirecek belirgin birtakım sorunsallar mevcuttur. Onlar da nötrinolar gibi bu rolü oynayamayacak kadar ateşlidirler, ve bazı modeller onların şimdiye dek hiç gözlenmemiş yapılar oluşturmaları gerektiğini akla getirmektedir.

Aksion probleminin Aksion Karanlık Madde Deneyi (AKMD/ADMX) vasıtasıyla şu ya da bu şekilde çözüleceği umuluyordu. Bu deney düzeneği 1990'da California'daki Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarında kuruldu ve Karl van Bibber ile Les Rosenberg tarafından işletildi. Onların tespit aygıtı aşırı ölçüde hassas bir radyo alıcısıydı. Aksionlar, şayet var iseler, madde ile konvansiyonel bir etkileşim sırasında çok fazla tespit edilme şansları olamayacak denli hafif olmalıydılar. Bununla birlikte, güçlü bir manyetik alanda yol alırken bir foton üretmeleri gerekirdi ve bu da tespit edilebilirdi.

Fikir, bir boşluk bulup orada radyo frekansı fotonları için bir tuzak vazifesi görecektir yoğun bir manyetik alan yaratmaktır. Eğer bu fotonlar tuzaktan geçen aksionlar tarafından üretiliyorlarsa zamanla birikerek çok zayıf bir radyo sinyali oluşturlardı. ADMX 1997'de tamamlandı ve işlemeye başladı, ama hiçbir şey tespit edemedi. Bu ilk prototipin ardından deneyin 2004'e dek süren ilk safhasında da herhangi bir şey bulunamadı. Sonuç alınması beklenen, ama yine hiçbir sonuç elde edilemeyen ikinci safha, karanlık madde adayı aksionun son şansı olarak görülmekle birlikte, bu varsayımsal parçacık bazı teorisyenlerin doğayla ilgili fikirlerinde hâlâ genel olarak zaman zaman ortaya çıkmaktadır.

İster ZEMP'lerden ister aksionlardan söz ediyor olalım, özgün bir karanlık madde parçacığı bulmaya kalkışmak gerçekten de çok tuhaf bir varsayım yapmak gibi görünüyor.

Karanlık artıyor

Evrendeki sıradan madde ve kuvvetlerin nasıl davrandığını açıklayan çok iyi bir modelimiz var. Görmüş olduğumuz gibi, her “normal” parçacığı tanımlayan standart model, gözlemlenebilir gerçekliğin çoğunu oluşturan 17 parçacık tipini içeriyor. Gerçi, “süpersimetri” teorisinin savunucuları en az 17 parçacık daha olması gerektiğine inanıyor. (Standart modeli gösteren diyagramı Ek’te bulabilirsiniz.)

O halde, öyle görünüyor ki, evrenin içerdiği sıradan maddenin beş katı büyüklüğünde olan karanlık maddenin tek bir parçacık tipinden oluştuğunu varsaymak fazla aceleci davranmak oluyor.* Böyle bir varsayımda bulunmak için, elimizde, teorisyenlerin işini kolaylaştırmak dışında bir neden yok (ve elbette evrenin böyle bir kaygısı olmadığını biliyoruz). Karanlık maddenin de farklı parçacıklardan oluşması gayet mümkündür.

Resme tersten bakalım; bir karanlık madde evreninde bulunduğumuzu ve “sıradan madde”nin ne’den oluştuğunu tahmin etmeye çalıştığımızı hayal edelim. Bu yaklaşımı benimseyerek, “sıradancık” adını vereceğimiz tek bir parçacık olduğunu varsayabiliriz ve böylece hakikate çok uzak kalırız. Fizikçi Lisa Randall tek parçacık yaklaşımını benimseyenleri “sıradan madde şövenistleri” olarak adlandırır, zira onlar, bizim sıradan maddemizin ilkel karanlık maddeden çok daha karmaşık bir şey olması gerektiğini varsaymış olurlar.

Göze görünmeyen bir paralel karanlık madde evreni bile hayal edebiliriz. Bu evrende karanlık güneşlerin saçtığı “karanlık ışık” karanlık varlıkların bulunduğu karanlık gezegenlere vurur... Elbette, böyle bir resmin gerçeği yansıtması pek

* Hatırlatalım: evrenin %27’si karanlık maddeden ve %68’i karanlık enerjiden oluşurken sadece %5 kadarı doğrudan gözlemlediğimiz şeylerden oluşuyor.

olası değildir, çünkü karanlık maddenin davranış şekli, kendi kendisiyle, kütleçekimsel bir etkileşim dışında pek az etkileşimi olduğunu düşündürmekte, bu da karanlık madde dünyalarının ilginç yerler olma olasılığını çok azaltmaktadır, ama biraz spekülasyon yapmak yine de eğlencelidir.

Zifiri “karanlık evren” fikri son derece olasılık dışı olsa da, bazı fizikçiler “karanlık foton”, yani kütlesi olan foton diye bir şey olsa onun nasıl davranacağına kafa yormaktadırlar. Bu foton standart modele girebilecek ek bir parçacık, bir “ayar bozunu” olurdu; kendileri çok küçük kütlelere sahip olan karanlık madde parçacıkları arasında etkileşim kurulmasını sağlayan bir kuvvet taşıyıcı parçacık olurdu. Böyle bir parçacık var olsaydı, prensipte, LIGO gibi kütleçekimi dalga dedektörlerinde kullanılan aynalardaki küçük sapmalara yol açabilirdi.

Kütleçekimi dalgaları* bu aynaların inanılmayacak kadar küçük hareketleri sonucu keşfedilir; bir protonun ebatlarından küçük hareketlerdir bunlar. Eğer böyle bir “karanlık foton” akımı dedektörlerden geçecek olsa, sebep olabilecek hareket algılanabilir ve diğer titreşimlerden ayırt edilebilirdi. Eğer bu tür parçacıklar varsa, onları LIGO’nun uzaya yerleştirilmesi önerilen çok daha büyük bir ikamesi olan LISA’nın tespit etmesi çok daha olasıdır. Ama şu da vurgulanmalıdır ki, bu olasılık varsayım üstüne varsayım yaparak ortaya atılmıştır ve kütleçekimi dalga dedektörlerinin hassasiyetini önemli bir başarı şansının yakalanmasını neredeyse olanaksız hale getirme ölçüsünde abartmaktan öteye gitmez.

“Karanlık radyasyon” için bir başka potansiyel aday (kendisi bile son derece spekülatif bir şey olan) steril nötrino denen parçacıktır. Her ne kadar nötrinolar karanlık maddenin

* Kütleçekimi dalgaları Einstein tarafından 1916’da tahmin edildi ve ilk kez 2015 yılında gözlemlendi. Kütleçekimi dalgaları uzay-zamanın dokusunun büzülüp genişlemesi suretiyle yol alır ve bu büzülüp genişlemeye de kara deliklerin çarpışması gibi büyük kütleçekimsel olaylar neden olur.

“madde” tarafını oluşturabilecek adayların arasından elenmiş olsalar da, Amerika’daki Fermilab’da yürütülen ve nötrino değişme biçimini incelemek için tasarlanmış MiniBooNE adlı deney 2018 yılında steril bir nötrino çeşidinin var olabileceğine dair ipuçları verdi; muon nötrinolar elektron nötrinolar olmadan önce, henüz tanımlanmamış bir halden geçiyor gibi görünüyordular.

Steril nötrininin bu tabloya makul şekilde sokulması parçacık fiziğindeki standart modelin önemli şekilde genişletilmesini gerektirir, çünkü terimdeki “steril” sözcüğü bu parçacığın, sıradan nötrininin aksine, zayıf kuvvetten etkilenmediğine işaret eder. Prensipde, eğer var olsaydı, steril nötrino bir karanlık madde kuvvet taşıyıcısı olabilirdi, ama elbette bundan emin olabilmemiz için daha çok yol katetmemiz lazım. Bu başka bir keşifler bulvarına girmek anlamına gelir.

Ayağımızın altında

Bu alanda çalışan fizikçilere karanlık maddenin neden bariz bir şey olmadığı, daha kesin konuşmak gerekirse, neden üzerine ayağımızı basabileceğimiz bir şeye dönüşmediği sorusu sık sık sorulur. Ne de olsa Dünya kütleçekimi etkisiyle sıkışan gaz ve toz bulutlarından meydana gelmiştir. O halde kütleçekimi neden normal maddeden daha çok karanlık maddenin bir araya gelmesine ve böylece Dünya’nın şu an olduğundan çok daha yoğun bir cisim olmasına neden olmamıştır?

Karanlık maddeyi tespit etmek üzere tasarlanan deneylerin tümünün Dünya’nın içinden sürekli çok miktarda karanlık madde geçtiğini varsaydığı kesinlikle doğrudur, ama Dünya’nın karanlık maddeyle aşırı ölçüde dolmamasının iki iyi sebebi mevcuttur.

Birinci sebep şudur: Teorik olarak çok miktarda karanlık madde olsa da bunlar, normal madde gibi güneş sistemi diski

içinde (ve sonra da Dünya’da) birikmez. Karanlık maddenin yalnızca kütleçekimi etkisiyle büyük hata edilerek yanlış isim konmuş haloları (içi boş küre biçimindeki cisimleri) oluşturmak üzere bir araya gelmesi beklenir. Bu, evrenin geneli içerisinde çok daha fazla miktarda mevcut olsa da, Dünya’nın olduğu sırada ve yerde sıradan maddeden daha az karanlık madde bulunuyor olması anlamına gelir.

İkinci sebebi de şöyle açıklayabiliriz: Dünya’ya doğru yol alan bir sıradan madde parçacığı, kütleçekiminden ötürü, (atmosferle etkileşimi ihmal edildiğinde) Dünya’nın yüzeyine çarpana dek hızlanır. Yüzeye ulaştığında elektromanyetik kuvvetler onu durdurur ve Dünya’nın bir parçası haline getirir. Bir karanlık madde parçacığı da benzer şekilde kütleçekimi etkisiyle hızlanır, ama elektromanyetik etkileşime girmediği için Dünya’nın merkezine ulaşana dek hızlanmayı sürdürür ve merkezden geçtikten sonra yavaşlamaya başlayarak başlangıçtaki hızı neyse Dünya’nın diğer tarafından o hızla çıkar ve yoluna devam eder. Dünya tarafından yakalanmasına yol açacak tam doğru hızda ve yönde hareket ediyor olma olasılığı çok düşüktür. Dünya’da bulunan karanlık madde miktarının yalnızca birkaç gram olduğu tahmin edilmektedir.

Modifiye Newton Dinamiği

1983 yılında astrofizikçi Mordehai Milgrom, şimdiye dek gözlemlenmemiş bu maddeye yorulan etkilerin bazılarını yeni bir madde tipini olaya dahil etmeye lüzum bırakmadan açıklayan ve parçacık fiziğinin standart modelini yeniden yazan bir mekanizmayla çıkagelerek karanlık madde mahfillerini altüst etti. 1946 Romanya doğumlu Milgrom çalışma yaşamını İsrail’de geçirdi. Ürettiği fikir Modifiye Newton Dinamiği (kısaca MOND) olarak bilinir.

Fikir basit ama etkilidir. Karanlık maddeye yorulan etkiler, kütleçekiminin kendisi de galaksiler ve galaksi kümeleri ölçe-

ğinde bize daha tanıdık gelen gezegenler ve yıldızlar ölçeğinde olduğundan yalnızca çok az daha farklı davransaydı da çoğu zaman gözlemlenirdi. Newton'un tahminlerine çok ince bir ayar yapmak gerekirdi ama bu küçük dokunuş, hızla dönerken besbelli dağılıp gitmeleri icap eden galaksileri ekstra maddeye lüzum kalmadan bir arada tutmaya yeterdi.

Kütleçekimi etkilerini evrensel olaylar olarak düşünmeye alışmışız. Ne var ki, başka fiziksel davranışların ölçeğe-bağlı olduğunu biliyoruz. Nihayetinde, madde; elektron ve atom gibi parçacıklar seviyesinde, insanlar ve tenis topları seviyesinde olduğundan çok daha farklı davranıyor. Genel görelilik kuramından yararlanırken, Newton dinamiklerine ince ayar yapmanın zorunlu olduğunu da görüyoruz. Genel görelilik kuramı çoğu zaman Newton'un kuramıyla aynı sonuçları veriyor, ama belli şartlarda, hemen göze çarpmayan farklı sonuçlara ulaşıyor.

Milgrom'un fikri başlangıçta karanlık maddeye cidden meydan okuyan bir düşünce olarak görüldü, ama Mermi Kümesi işi bozuyordu.

Gümüş mermi

Karanlık madde meraklılarına göre, onun varlığının en iyi kanıtı Mermi Kümesi adı verilen bir galaktik yapıdan gelir (bu kümenin böyle adlandırılmasının sebebi, hayal gücünü epeyce zorlayarak, silahın namlusundan fırlamasını sağlayan gaz kitlesini gerisinde bırakarak yol alan bir merminin dondurulmuş görüntüsüne benzetilmesidir). Mermi Kümesi iki ya da daha fazla kümenin birleşmesi sonucu ortaya çıkmış bir galaktik yapı gibi görünmektedir. Kümenin şekli, su damlasına benzeyen bir merkez ile iki yanında, Miki Fare kulaklarını andıran, iki soğansı çıkıntı olarak tarif edilmektedir (elbette bölgeler düz değil üç boyutludur).

Bu sıra dışı yapının sadece sıradan maddeden oluşmuş yapıların çarpışması sonucu ortaya çıkacağını anlamak güçtür. Ama galaksilerin birleşmesi sırasında, sıradan maddenin merkezde çarpıştığı ve çevreye yüksek enerjili ışık biçiminde enerji saçtığı varsayılmaktadır. Bu enerji kaybı sıradan maddenin çarpışmanın cereyan ettiği merkezin çevresinde kaldığı anlamına gelir. Fakat karanlık madde kendi kendisiyle bile elektromanyetizma yoluyla etkileşmez, bu yüzden merkez bölgeden geçmiş ve yoluna devam etmiştir. Kütleçekimi zamanla onu yavaşlatmıştır, ama o bu arada merkez bölgenin çevresinde iki balon oluşturmuştur.

Sonuçta iki soğansı çıkıntı esasen karanlık maddeden oluşmuştur ama yeteri kadar sıradan maddeyi kendine çekebildiği için gözle görülebilir hale bürünmüştür, merkez ise esasen sıradan maddeden meydana gelmiştir diyebiliriz. Böyle bir olasılık kesinlikle mevcuttur ve birçok kozmolog ile astrofizikçinin Mermi Kümesi'ni sevmesinin sebebi bu olasılıktır. Bu, –ne güzel bir rastlantıdır ki– karanlık maddenin varlığını destekleyen bir kanıt olarak görülür ve MOND'un ölüm fermanı kabul edilir.

Birçok fizikçi ve bilim yazarı Mermi Kümesi'nin tartışmaya noktayı koyduğunu varsayar; burada tıpkı kozmik mikrodalga arka plan ışımasının keşfedilmesinin büyük patlama kuramı ile süredurum kuramı arasındaki kavgaya son vermesi gibi bir durum söz konusudur. Ne var ki burada iş o kadar basit değildir. Modifiye kütleçekiminin savunucuları direnmekte ve bugün her zamankinden daha fazla taraftar toplamaktadırlar.

MOND misilleme yapıyor

MOND'un ilk versiyonu Mermi Kümesi'ni açıklamaya çalışsa da, karanlık madde ile iyi açıklanamayan başka birçok koz-

molojik fenomen daha mevcuttur. Bu fenomenleri ele alırken, karanlık maddeyi bir kenara bırakıp modifiye kütleçekimi kuramına başvurmak daha anlamlı gözükmektedir. Klasik bir örnek NGC 1560 adlı galaksidir. 1883'te keşfedilmiş olan bu sarmal galaksi bizden 10 milyon ışık yılı uzaklıktaki bölgede yer alır.

Bu galaksinin dönme eğrisi Newton'un kuramına dayanılarak öngörülenden çok daha düzdür, dolayısıyla bu durumu açıklayacak bir etmene ihtiyaç duyulur. MOND'un tahminleri bu eğriye çok isabetli bir şekilde uyar. Fakat karanlık maddeden yola çıkılarak yapılan eğri tahmini hiç gerçeği yansıtmaz. O zaman demek ki, eldeki tek kanıt, Mermi Kümesi'nin karanlık madde sorununa sihirli bir çözüm sunmadığını gösterir. Sadece modifiye kütleçekimi yaklaşımının işe yarıyor görüldüğü yerde aynı ölçüde iyi veriler sunan NGC 1560 gibi örneklerden daha ikna edici değildir.

Sıradan maddeyle etkileşen bir ekstra alan öneren Skaller-Tensör-Vektör-Kütleçekimi (STVK) gibi daha yakın zamanlarda ortaya atılmış diğer kütleçekimi yaklaşımları Mermi Kümesi ile bir sorun yaşamıyormuş gibi duruyor. Aslında, Tren Enkazı Kümesi gibi etkileyici bir ismi olan farklı bir galaksi kümesi ele alındığında, STVK bir açıklama olarak işe yararken karanlık madde işe yaramıyor.

Modifiye kütleçekiminin işini bitirmeye kararlı MOND zehirlerinden bir başkası da hiç de esin verici bir isim taşımayan, 2018'de keşfedilmiş NGC 1052-DF2 adlı bir cüce galaksidir. Burada astrofizikçilerin kaşlarını kaldırmalarına sebep olan şey bu cüce galaksinin hiç karanlık madde içermiyormuş gibi dönüyor olmasıydı. Bu pek mümkün görünmeyebilir, ama eğer karanlık madde varsa mümkündür. Karanlık madde teorisi, evrenin başlangıcından buyana geçen zaman içerisinde her bir galaksinin oluşmaya başlayabilmesi için karanlık maddenin gerekli olduğunu varsayar. Ama karanlık mad-

denin büyük kısmının galaksinin dışında olduğu göz önünde bulundurulursa, karanlık madde diğer galaksilerle etkileşime girerek bir galaksinin elinden çekilip alınabilir. Söz konusu cüce galaksi çok büyük bir galaksinin uydusu olduğu için, böyle bir sürecin cereyan etmesi teorik olarak mümkündür.

Ancak, eğer karanlık madde *yoksa* ve galaksilerin her zaman ki davranışının sebebi, modifiye kütleçekimi teorisinin bir çeşidiyle açıklanabiliyorsa, o zaman, bu etkiyi doğurmayan tek bir galaksi bile olmaması icap eder. NGC 1052-DF2'nin atipik davranışının bu keşfi önce modifiye kütleçekiminin ölüm haberi olarak duyuruldu; ama bu iş o kadar kolay değil. Bu tür bir olası sonuç, modifiye kütleçekiminin ardındaki temel kavram için geçerli olsa da teorinin tam olarak uygulanması, bu tür bir garipliğin kolaylıkla üstesinden gelebilecek, ekstra karmaşık işlemleri de gündeme getirecektir. Nitekim daha ayrıntılı modifiye kütleçekimi teorilerinin Mermi Kümesi ile başa çıkabildiğine tanık olmuştuk.

Aslında, biraz daha fazla analiz yapıldığında görülür ki, NGC 1052-DF2'nin davranışı, her ne kadar MOND tahminlerinin en aşırı ucunda yer alsada, modifiye kütleçekimi teorisinin temel formuna bile tehdit oluşturacak kadar norm dışı değildir. Bunun sebebi yalnızca çok sınırlı miktarda veri olmasıdır ve bu verilerin nasıl işlendiğine bağlı olarak galaksi MOND'a uydurulabilir. Kimse MOND'un ölüm haberini vermek için bu galaksiyi kullananların uygun verileri cımbızladığını ileri sürmüyor, ama şuna hiç kuşku yok ki bu verileri kendi iddialarını en iyi destekleyecek şekilde yorumluyorlar.

Ben bu satırları yazarken bu keşfin yapılmasına ramak kalmıştı; ikinci bir grup bilimci, verilerin yanlış yorumlandığı ve NGC 1052-DF2'de karanlık madde etkilerinin eksik olmadığı değerlendirilmesini yapıyordu. Galaksiye olan mesafenin yanlış ölçülmüş olabileceğini önu sürüyorlardı (bu, galaksi-

nin daha önce iki kez “keşfedilmiş” olduğunun ve dolayısıyla hesaplamalarda kullanılabilecek başka veriler de bulunduğu-
nun son zamanlarda farkına varılmasıyla kuvvetlenen bir fi-
kirdi). Eğer, bu enformasyonun mümkün kıldığı gibi, galaksi
bize ilk başta düşünüldüğünden çok daha yakınsa, bu, küt-
lesinin yanlış hesaplandığı ve galaksinin karanlık maddeden
yoksun olduğu varsayımının yanlış olduğu anlamına gelirdi.
Belirsizlik sürüyor.

Beliren kütleçekimi

MOND (ve daha yeni çeşitleri) karanlık maddenin bariz eyle-
mini açıklamak için kütleçekimi teorisini modifiye etmek söz
konusu olduğunda başvurulacak tek yol değil. Son zamanlar-
da konuşulmaya başlanan başka bir yol da beliren (*emergent*)
kütleçekimi (entropik kütleçekimi de deniyor).

Şu an kütleçekimini anlamak için kullandığımız denek-
taşı Einstein’ın genel görelilik kuramı (bundan ileride daha
çok söz edeceğiz). Kuantum fiziğiyle bütünleştirilememesine
karşın kuram zamanın sınavından başarıyla geçti. Onları bir
araya getirmek için yapılan her türlü girişim olanaksız son-
suzluklarla sonuçlanıyor. Döngüsel kuantum kütleçekimi
gibi bazı denemelerse, uzay zamanın kuantize edilebilmesi
için genel göreliliği modifiye etmek zorunda kalıyor.* Bu tür
yaklaşımların en yenisi olan “beliren kütleçekimi” genel göre-
liliğin bazı açılardan termodinamiğe, yani ısı ve gaz molekül-
lerinin hareketinin ardında yatan fiziğe benzediği kanısının
oluşmasına yol açan bir gözleme dayanıyor.

Bu modelde, kütleçekimi temel bir kuvvet olmaktan çok,
uzay zamanı oluşturan kuantum parçacıkları arasındaki (çok

* Bu da, uzay-zamanın süreklilik arz etmektense, aşırı derecede küçük par-
çalara ayrılması anlamına gelir.

iyi etüt edilmiş bir kuantum etkisi olan) dolaşıklık sonucu “beliren” bir kuvvet olarak ele alınıyor. Beliren niteliklere doğada sık rastlanır; bariz şekilde basit ögeler daha karmaşık bir bütün oluştururlar. Kum tepelerinin yapısı ve kar tanelerinin formundan yaşamın kendisine dek her şey beliren olgular olarak tanımlanır.* Fakat kütleçekimini beliren bir nitelik yapmak için ileri doğru uzunca bir adım daha atmak gerekir.

2016’nın sonunda, Amsterdam Üniversitesi’nden Hollandalı teorik fizikçi Erik Verlinde kozmolojik sabiti pozitif olan –bizimki gibi– bir evrende (kozmojik sabit hakkında daha fazla bilgi için 122. sayfaya bakınız), beliren kütleçekimi var olsa, o zaman bunun genel görelilik kuramından bir sapmayla sonuçlanacağını ve bunun da madde üzerinde, karanlık maddeye yorulan etki ile aynı etkiyi doğuracağını gösterdi. Bu keşfin bir de sürpriz sonucu vardı: Bu etkinin güneş sistemi gibi yüksek yoğunluklu sistemlerde görülmeyeceği, sadece galaksiler gibi daha dağınık (içinde çok fazla boş uzay olan) sistemlerde görüleceği tahmin ediliyordu.

Ancak, bazı önemli problemler henüz çözülmemiştir. Bu yaklaşımın tüm olası sonuçları ve ayrıntıları üzerinde düşünülmemiş, gerçeklikten çok daha basit olan idealize edilmiş bir durumdan yola çıkarak yapılan tahminlere bel bağlanmıştır. Böyle olmasına rağmen, beliren kütleçekimi teorisinin, maddenin galaksilerin çevresinde dönüş biçimini tahmin etmekte MOND kadar etkili bir araç olmadığı ve galaksi kümelerinin davranışlarını açıklamakta karanlık maddeden daha başarısız olduğu çoktan gösterilmiştir. Ve şu ana dek, çok büyük ölçekli yapılara ya da erken evrendeki yapıların oluşumuna da bir açıklama getirebilmiş değildir.

* Şunu bir düşünün: Siz bir insan olarak trilyonlarca canlı hücreden oluşuyorsunuz. Bu hücrelerin hiçbirisi kendi başına pek bir şey yapamaz; insanın yetenekleri bu hücrelerin bir araya gelmesiyle beliren niteliklerdir.

Yine de, çok yeni ve henüz tam olarak geliştirilmemiş olan bu teori, bazı ilginç fikirler üretmekte ve modifiye kütleçekimi teorileri üzerinde düşünme ihtiyacını daha da artırmaktadır.

Yapış yapış kütleçekimi

Karanlık madde sorununa son bir alternatif çözüm örneği karanlık maddeyi gerçek bir madde olarak gören bir teoridir, ama bu teoriye göre söz konusu madde kütleçekimi aracılığıyla etkileşen alışılmış parçacık grupları gibi davranmaz. Bu, süperakışkan maddedir.

Bilinen en iyi süperakışkan, sıcaklığı 2,17 K'nın altına düşürülmüş sıvı helyumdur (Kelvin, birim aralığı santigrat derece ile aynı olan fakat sıfır noktası olarak mutlak sıfırı, en alt sıcaklık limiti olan $-273,15^{\circ}\text{C}$ 'yi alan sıcaklık ölçüsü birimidir). Sıvı helyum içindeki atomlar kuantum seviyesinde birbirleriyle bağlantılı hale gelerek bu elementi viskozitesi olmayan bir maddeye çevirir ve ona ısı enerjisini hiçbir kayba uğramadan iletme yeteneğini kazandırır. Bu "viskozitesi olmayan" nitelmesi kısaca şu anlama gelir: Eğer bir süperakışkan halkayı döndürmeye başlarsanız, yeteri kadar düşük sıcaklıkta kaldığı müddetçe dönmeye devam eder.

Eğer karanlık madde sıradan madde parçacıkları topluluğu değil de bir süperakışkan, özellikle de yaygın şekilde etüt edilmiş Bose-Einstein yoğunlaşması olarak bilinen süperakışkan formu olsaydı, karanlık madde parçacıklarının tespit edilememesi kolaylıkla açıklanabilirdi; çünkü karanlık madde bireysel parçacık formunda sahip olduğu özel niteliklere sahip olmazdı. Aslına bakarsanız, süperakışkan karanlık madde geleneksel karanlık madde modelleri ile modifiye kütleçekiminin bir tür kombinasyonudur.

Bu yaklaşımın cazip yanı karanlık maddeyi galaksiler ölçeğinde süperakışkan formda olan ama başka ölçeklerde farklı

şekilde davranan bir mevcudiyet olarak kavramayı mümkün kılmasıdır. Fizik bizi süperakışkan formda olmayan karanlık maddenin galaksi kümelerine egemen olduğunu, öte yandan güneş sistemi ölçeğinde normal maddenin karanlık maddenin etkilerine galebe çalacağını ve pek çok gözlemle basit karanlık madde ya da modifiye kütleçekiminden daha iyi uyushacağını düşünmeye iter.

Daha basit modifiye kütleçekimi yaklaşımları gibi süperakışkan karanlık madde de henüz aşırı ölçüde varsayımsaldır, ama gün geçtikçe daha çok ilgi gören yeni bir yaklaşımdır ve ileride, astrofizikçilerin yapmaya çalıştığı atılımı temsil edecek olabilir. Aslında süperakışkan modele göre, madde süperakışkan gibi davrandığında modifiye kütleçekimi etkisi, böyle davranmadığıdaysa karanlık madde etkisi oluşur. Bu model bize her iki yaklaşımın en iyi yönlerini verir. Zamanın sınavından başarıyla çıkıp çıkamayacağını söylemek için henüz çok erken.

Galaktik yapı iskelesi

Karanlık madde, her ne olursa olsun –ister sadece kütleçekimiyle etkileşen gerçek madde öbekleri, ister büyük ölçekli yapılar için kütleçekimi denklemlerine yapılmış ince bir ayar olsun– aslında bugün bizim var olmamıza katkı sağlayan faktörlerden biridir. Evrenin ilk günlerinde radyasyon basıncı çok yüksekti, görece zayıf kütleçekim kuvvetinin maddeyi galaksiler oluşturmaya yetecek kadar büyük ölçekte bir araya getirmesini zorlaştırıyordu. Karanlık madde ya da modifiye kütleçekimi olmasaydı, evrende gördüğümüz –bizim kendi Samanyolu’muz dahil– büyük ölçekli yapıların oluşmasına vakit kalmazdı. Karanlık maddenin kütleçekimi etkisi sıradan maddenin kütleçekimi etkisinin beş katı olduğu ve radyasyondan etkilenmediği için, karanlık madde bu ya-

pıların bir araya gelmesini sağlayacak yeterli kütleçekimini oluşturdu.

Dinozor faciası

Karanlık maddeyle ilgili en eğlenceli teorilerden biri, karanlık maddenin dinozorların yok oluşundan dolayı olarak sorumlu olabileceği iddiasını içerir. Fazla destekçi bulmamış olsa da Lisa Randall ve çalışma arkadaşları tarafından ortaya atılmış olan bu fikir hiç de tuhaf sayılmaz.

Dinozorların yok oluşu uzun zaman bir bilmece olarak kaldı. Dünyaya milyonlarca yıl egemen olmuş canlıların soyu nasıl apansız tükenebilirdi? (Elbette soylarının tamamen tüendiğini söyleyemeyiz, zira kuşların bazı dinozor türlerinin soyundan geldiğini biliyoruz.) Açıklama fizikçi baba Luis Alvarez ile yerbilimci oğul Walter Alvarez'in yürüttüğü harika bir bilimsel dedektiflik çalışması sonucunda bulundu.

1970'lerde Walter yerkabuğunda K-Pg sınırı olarak bilinen belli bir tabakayı inceliyordu. K-Pg, Kretase döneminden Paleojen dönemine geçiş sırasında oluşmuş ince bir madde katmanıydı (jeolojik adlandırmalarda değişiklik yapılmadan önce bu katman Kretase ile Tersiyer arasındaki sınır olarak biliniyordu). Bu katman, başka pek çok organizma grubuyla birlikte dinozorların toplu halde yok olduğu 66 milyon yıl öncesine aittir.

Babası Luis birlikte çalışan Walter K-Pg tabakasında mevcut olan iridyum düzeyini araştırdı. Bu ağır metal Dünya'nın yüzeyinde çok az miktarda bulunur çünkü yoğunluğu gezegenin derinliklerine çekilmesine neden olacak ölçüde fazladır. Sonuç olarak, –o zamanlar yer yüzeyini oluşturan– bu tabakadaki iridyum, meteor çarpmaları sonucu Dünya dışından gelmiş olmalıydı. Walter'ın çalışmasının başlangıçtaki hedefinin dinozorlarla hiçbir ilgisi yoktu. Amacı, iridyumun uzaydan

çok düzenli bir şekilde geldiği varsayımından yola çıkarak ve birikmiş olan element miktarına bakarak bu katmanın oluşmasının ne kadar zaman aldığı konusunda bir fikir edinmekti. Fakat baba oğul şaşırtıcı biçimde fazla miktarda iridyum buldular; mevcut element miktarı, ölçmeyi tahmin ettikleri rakamın 90 katı kadardı.

Dünyanın farklı yerlerinde de aynı K-Pg tabakası içinde bu nadir metalden benzer miktarlarda bulundu; hatta bazı yerlerde element miktarı beklenen normal seviyenin 160 katı kadardı. Böyle bir etkinin ortaya çıkması için uzaydan Dünya'ya tek bir seferde yaklaşık yarım milyon ton iridyum gelmiş olması gerekiyordu. Bunun tek yolu Dünya'ya çok büyük, 10-15 kilometre çapında bir asteroit ya da kuyruklu yıldızın çarpmasıydı.

Daha çok veri gelince, teori çabucak dinazorların soyunun tükenmesinin sebebi olarak kabul edildi ve bu tür bir iridyum katmanı oluşturmaları mümkün olmayan volkan patlaması gibi alternatifler bir kenara bırakıldı. Bu dev cisim yüksek hızla Dünya'ya çarptığı zaman, yarattığı şok dalgası, yer sarsıntısı ve tsunamilerle çevresindeki geniş arazi kuşağını yok etmekle kalmaz, tüm gezegeni saran toz ve kül bulutları da meydana getirirdi. Çarpma ile çevreye saçılan sıcak enkaz tüm dünyaya yayılan yangınlara sebep olur, yaşam alanlarını yok eder, sonra da Güneş ışınlarının Dünya'ya ulaşmasını engelleyeceği için sıcaklıkların yıllarca düşük seyretmesine yol açardı.

Yapbozun son parçası olan çarpma kraterinin bulunması on yıl aldı. Yaklaşık 200 kilometre çapındaki bir krateri bulmanın kolay olduğu sanılabilir, ama çarpma noktası karada olmak zorunda değildi ya da karada olsa bile aradan geçen 66 milyon içerisinde üzeri kapanıp gözden kaybolmuş olabilir. Sonunda, petrol arama çalışmaları sırasında, bu felaketten sorumlu olması muhtemel bir krater keşfedildi ama keşif ba-

sına yansımadı. Bu, Meksika'nın Yucatan Yarımadası'ndaki, bir kısmı karada bir kısmı denizde olan Chicxulub krateriydi.

Dünya dışından gelen bir istilacı tarafından dinazorların yok edilmesi müthiş bir hikâye, ama bu hikâyede karanlık madde hangi rolü oynuyor? Dünya'ya çarpan gökcismi – karanlık maddeyle hiçbir ilgisi olmayan– gayet normal bir asteroit ya da kuyruklu yıldız. Fakat Randall'ın teorisi dinazorların soyunun tükenişinden karanlık maddenin sorumlu olabileceğini öne sürüyordu. Randall şunu söylüyor: Samanyolu'nu kuşatan küresel karanlık madde halesinin yanı sıra, galaksi diskinde paralel uzanan bir karanlık madde diski de mevcuttur. Güneş Samanyolu'ndaki yörüngesinde ilerlerken sürekli galaksi diski düzlemine paralel kalmaz, azar azar bir aşağı bir yukarı doğru hareket eder.

Bu da demektir ki, eğer böyle bir karanlık madde düzlemi varsa, Güneş ona dalıp çıkar, bu dalıp çıkma hareketi de güneş sistemindeki asteroit ya da kuyruklu yıldızın yörüngesini onun Dünya'yla çarpışma rotasına girmesine neden olmaya yetecek kadar bozacak kütleçekimi etkileri üretir. Kuşkusuz, bunlar tamamen varsayım. Böyle bir karanlık madde diski mevcut olsa bile, asteroit ya da kuyruklu yıldızın yörüngesinin değişmesine kesinlikle yol açardı diyemeyiz. Zaten böyle bir diskin varlığı çok tartışmalıdır.

Gördüğümüz gibi, geleneksel karanlık madde modelinde, karanlık madde sıradan madde gibi bir disk oluşturmaz, daha çok, küresel bir hale meydana getirir, çünkü karanlık madde parçacıkları birbirleriyle elektromanyetik olarak etkileşmezler. Fakat Randall farklı tipte karanlık madde parçacıkları olabileceğini (bkz. s. 70) ve bu parçacık tiplerinden en az birinin karanlık madde parçacıklarının birbirleriyle etkileşmesini mümkün kılacak niteliklere sahip olabileceğini öne sürer.

Bu fikir Randall'ın konuyla ilgili kitabını satmak için tasarlanmış gibi görünebilirdi; ne de olsa kozmolojiyi ve dinazor-

ları herkes sever, öyle değil mi? Gelgelelim bu ciddi bir teori. Öte yandan elde onu doğrulayan herhangi bir kanıt olmamasından ve mevcut karanlık madde modeline –pek az taraftar toplamış olan– bir ekleme yapılmasını gerektirmesinden ötürü diğer astrofizikçiler ona kuşkuyla yaklaşıyor. Katılsanız da katılmasanız da, bu, karanlık maddenin etkisinin galaksilerin ve galaksi kümelerinin dönme davranışını açıklamak için gerekli olan basit önkoşulların ötesine nasıl geçebileceğine dair ilginç bir düşüncedir.

Karanlık madde diye bir şey yok mu?

Tamam sorun değil

Fazla iri oldukları hemen göze çarpan galaksilerin kararlı durumda kalma yeteneklerini açıklamakta yarışan belli başlı iki teori her ne kadar karanlık madde teorisi ile modifiye kütleçekimi teorisi ise de, üçüncü bir yol, bu davranışı açıklayacak üçüncü bir seçenek daha mevcuttur. Pek çok açıdan bu en akla yakın olasılıktır ve onu ortaya atan kişi bir fizikçi ya da gökbilimci değil bir matematikçidir. Donald Saari Northwestern University’de matematik profesörü ve yakın zamana dek Irvine’daki Kaliforniya Üniversitesi Matematiksel Davranış Bilimleri Enstitüsü müdürüydü. Karanlık maddenin, tıpkı Kimera gibi, bir kuruntudan ibaret olabileceğini ileri sürüyordu.

Matematikçiye göre, tıpkı Yunan mitolojisinde adı geçen bu canavar gibi karanlık madde de sadece onu arayanların imgeleminde bulunuyor olabilir. Fakat galaksilerin beklenmedik türden bir dönme davranışı sergilemelerinin bir nedeni olmak zorunda olduğundan da anlaşılacağı gibi, karanlık maddenin sadece bir kuruntudan ibaret olması pek mümkün görünmüyor. Öte yandan, Saari bunun çok basit bir açıklaması olduğunu öne sürüyor: Galaksiler tıpkı şu anki kütleçekimi

teorimizin öngördüğü şekilde davranıyor, ama fizikçiler toplama işleminde hata yapıyor.

Şimdiye dek, bir galaksinin –milyarca yıldızdan oluşan bir yapının– dinamik davranışını hesaplamanın gayet kolay bir iş olduğunu düşündük. En fazla iki tane gökcisminin kütleçekimi yasasına uygun şekilde birlikte nasıl hareket edeceklerini kesin şekilde hesaplayabileceğimizi anımsadığımızda, bunun çok cesurca bir varsayım olduğu hemen ortaya çıkar. Tüm evrende, diyelim ki, sadece bir yıldız ile bir gezegenin kütleçekimsel etkileşimini kusursuz şekilde hesaplayabiliriz. Ne var ki, aralarına bir gökcismi –ikinci bir gezegen ya da mevcut gezegenin bir uydusunu– daha katarsak, ilişkiler kesin hesap edilemeyecek kadar karmaşık hale gelir, çünkü her bir gökcisminin kütleçekim etkisi ve hareketi diğerleriyle etkileşime girer. Sonuç kaotiktir.

Bu elbette ikiden daha fazla gökcisminin hareketlerini tahmin etmeye yönelik birtakım hesaplamalar yapmanın imkânsız olduğu anlamına gelmiyor. Gökbilimciler gezegenlerin ve güneş sistemindeki diğer gökcisimlerinin hareketlerine ilişkin tahminler yapmakta yüzyıllardır iyi işler çıkardılar ve günümüzde bu tür tahminler son derecede isabetli bir şekilde yapılabilir. Fakat bu iş, bir seferde kesin, kusursuz bir sonuca ulaşarak değil, gerçek değere gitgide daha çok yaklaşan yaklaşık değerlere adım adım ulaşarak yapılıyor.

Şimdi bu problemi bütün bir galaksiyi kapsayacak şekilde büyütün. Bizimki dışında en iyi bildiğimiz galaksiyi, muhteşem Andromeda galaksisini ele alalım. Andromeda'nın bir trilyon civarında yıldız içerdiği ve 220.000 ışık yılı genişliğinde olduğu tahmin ediliyor. Her yıldızın nerede olduğunu, galaksinin nasıl hareket ettiğini ya da galaksideki tüm yıldızların bu hareketi nasıl etkilediğini bilmiyoruz. Galaksinin hareketini ancak çok yaklaşık olarak tahmin edebiliriz. Bu tahmine ulaşmak için kullanılan matematiksel modelin birtakım kusurları olması mümkündür.

Benimsenen yaklaşım, galaksiyi sürekli hareket eden bir materyal parçası olarak düşünmektir (açıkçası, bu kaba bir tahmindir). Bu tahminin işe yaraması için, bu hayali süreklilikte, her bir yıldızın galaksinin kütle merkezine doğru, kütleçekiminden ötürü hızlanarak hareket ettikleri varsayılır. Tıpkı yörüngede ilerleyen herhangi bir gökcismi gibi, bir yıldız doğruca merkeze düşmez çünkü aynı zamanda dönme hareketi yapmaktadır. Her bir yıldızın galaksi merkezine daha yakın olan ve kesintisiz bir kitle oluşturdıkları hayal edilen diğer yıldızlarla (hesaplanabilen) ikili bir ilişki içinde olduğu varsayılır. Galaksinin geri kalanı göz ardı edilir, çünkü etkilerinin hesaba katılmaması gerekir.

Saari bu tahmin yönteminin sorunlu olduğunu belirtiyor. Galakside sadece iki yıldızla zum yaptığınızı düşünün; birbirlerine yakın şekilde, galaksi merkezinin çevresinde dönmekte olsunlar. Kütleçekiminin mesafenin karesiyle ters orantılı olduğunu (gökcisimleri birbirlerine ne kadar yakınlarsa kütleçekiminin o kadar büyük olacağını) aklımızda tutarak, bu iki yıldızın birbirlerine yakın olmasının, aralarındaki kütleçekimi etkisinin, yıldızlardan bir tanesi ile galaksinin geri kalanının oluşturduğu hayali kesintisiz kitle arasındaki kütleçekimine baskın çıkacağı anlamına geldiğini söyleriz. (Güneş'in çevresindeki yörüngelerinde dönen gökcisimleri, örneğin Jüpiter'e çok yaklaştıklarında, güneş sisteminde de benzer bir şey olur.) Sonuç, kütle merkezine doğru hızlanma varsayımının ihlal edilmesi olur ve iki yıldızdan hızlı olanı daha yavaş olan yıldızı beraberinde sürükler.

Saari'ye göre, kullanılan tipik denklem, "ayrık cisimlerden oluşan iyi huylu basit sistemlerle bile başa çıkamayacağı için kimse onun daha karmaşık ortamlarda neler olacağını öngörmesini bekleyemez". Ve hiç kuşku yok ki çoğu galaksi bu "daha karmaşık" tanımına uyar. Saari'nin karanlık maddenin –mevcut tahminlerdekinden farklı oran ve dağılımda–

keşfedilmesini beklediğini söylediğini duyunca belki şaşırırız: “Aslında, öyle görünüyor ki, devasa miktarda karanlık madde arayanlar, olmayan bir şeyi aramakla meşguller; bu matematiksel bir hata. Öte yandan, gök kürede bu kadar çok şey cereyan ederken, ‘karanlık madde’ olarak etiketlenecek bir şeyin keşfedileceği beklentisi içinde olmak lazım.”

Bu son beklentinin tam olarak nereden kaynaklandığı açık değil; belki de, astrofizikçilerin karanlık madde teorileriyle uğraşarak zamanlarını boşa harcamış olduğu gibi bir görüntü oluşmasını engelleme denemesidir. Ne var ki, Saari’nin ortaya koyduğu matematiksel güçlük, evrende neler olup bittiğini tasvir etmeye çalışanların yaptığı resmi daha da karmaşık hale getiriyor. Karanlık madde, sebebi bilinmeyen birtakım parçacıklar ya da modifiye kütleçekiminden ileri gelmiyor olabileceği gibi, matematiksel bir yanılsama da olabilir.

Günümüzde karanlık maddeyle ilgili böyle bir belirsizlik söz konusudur. Peki ya bizim öteki bilinmeyen niteliğimiz karanlık enerji? Onun hakkında daha çok şey öğrenmek için, önce evrenin büyüklüğü ve genişlemesiyle ilgili keşiflerin nasıl yapıldığına göz atmamız gerek.

EVREN NE KADAR BÜYÜK?

4

Evrensel ölçümler

Galaksilerden ve kümelerden bariz şeylermiş gibi söz ediyoruz ancak pek çoğumuz onları fotoğraflar dışında hiç görmedi. Orada bir yerlerde olan bir şeyi tespit etmek ve evrenin büyüklüğüyle ilgili gerçekçi bir fikre sahip olmak, teleskoplar astronomların alet çantasına girdikten sonra bile oldukça zordu.

Bazı yıldızların diğerlerinden daha parlak olduğu doğrudur. Naif bir yaklaşımla, yıldız ne kadar parlaksa, bize o kadar yakındır diyebilirdik. Biliyoruz ki, Güneş diğer tüm yıldızlardan daha parlak. Yani bu naif yaklaşımımız mantıklı gibi duruyor. Ancak parlaklık, mesafeyi ölçmek için yeteri kadar iyi bir araç değildir. Yıldızlar bize aynı mesafede ancak farklı parlaklıkta (Aristoteles'in modelinde varsayıldığı gibi) olabilirler. Veya, geniş bir mesafe aralığına yayılmış da olabilirler. Benzeri bir yaklaşım uzaktaki galaksilere de uygulanabilir. Peki, öyleyse, elimize metreyi alıp ölçmeden, uzayda mesafeleri ölçmek nasıl mümkün olabilir?

Yıldızların uzaklığını ölçmede kullanılan en eski yöntem basit bir şekilde denenebilir. Bir parmağınızı kaldırın yüzünüzün önüne getirin. Ardından, sırayla sol ve sağ gözlerinizi kapatın. Bunu yaparken parmağınızı gördüğünüz yerin de-

ğiştiiğini göreceksiniz. Şimdi, kolunuzu uzatın ve aynı deneyi tekrarlayın. Benzer şekilde, parmağınızın konumunun ilk deneydeki kadar fazla olmasa da değiştiiğini göreceksiniz. Bir şey ne kadar uzaktaysa, ona baktığınız gözünüzü değiştirdiğinizde o kadar az hareket eder.

Paralaks (ıraklık açısı) adı verilen aynı tekniği, yıldızların ne kadar uzakta olduğunu anlamak için de kullanabiliriz. Bir yıldız seçin, önce bir gözünüzle bakın, sonra da diğeriyle. Az önceki deneyimize göre, yıldızı gördüğümüz nokta da değişmeli. Ancak bir yıldıza baktığımız gözümüzü değiştirirsek, gözle görülür bir fark görmemizin mümkün olmadığını biliyoruz. Yıldızdan ne kadar uzakta olduğumuzu düşündüğümüzde, bu pek de şaşırtıcı olmamalı. Şimdi, gözlerinizin birbirinden 300.000 km uzakta olduğunu düşünün. Bu durumda değişim çok daha fazla olmalıdır. Bunu yapmak o kadar da zor değil. Eğer gece gökyüzünde bir şeye bakıp, altı ay bekleyip tekrar bakarsanız, Dünya, Güneş'in etrafındaki yörüngesinin zıt noktasına gelmiş olacağından; ikinci gözleminizi ilkinden yaklaşık 300.000 km uzakta yapmış olursunuz. Bu mesafe gerçekten de yakınıımızda bulunan yıldızlarla aramızdaki mesafeyi ölçmek için yeterlidir.

Astronomlar, bu etkiyi bir ölçü birimi olarak kullanırlar. En yakınıımızdaki yıldızla bile aramızdaki mesafe, standart ölçü birimi olan metre kullanıldığında son derece karmaşık görünür. Örneğin Proxima Centauri isimli yıldız, bize 38.000.000.000.000.000 metre uzaktadır. Hiç kuşkusuz, bilim insanları üstel ifadeler (10 'un kuvvetleri) kullanarak bundan çok daha büyük değerlerle uğraşırlar. Bir bilimci, bu mesafeyi $3,8 \times 10^{16}$ şeklinde yazardı. Bu ifadedeki 10^{16} , 1 'in yanına koyulmuş 16 tane sıfır anlamına gelmektedir. Eğer ki çok küçük bir sayıyı bu şekilde ifade edecek olsaydık, örneğin 0,00000000009'u, 9×10^{-11} şeklinde yazabilirdik. Ancak, astronomlar halktan birileriyle konuşurken ışık yılı ifadesi-

ni, meslektaşlarıyla konuşurlarken de parsek ifadesini kullanırlar.

Hatırlarsanız, ışık yılının, ışığın bir yılda kat ettiği yol olduğunu söylemiştik. Yani yaklaşık olarak 9.467.000.000.000 kilometre. Işık yılı, oldukça kullanışlı bir ifadedir çünkü yalnızca birkaç ışık yılı bile, uzayda oldukça büyük mesafeleri ifade eder. Bu değer mesafenin yanı sıra, zamanda ne kadar geriye baktığımızı da bize söylemiş olur. Örneğin Andromeda galaksisi, bizden 2,5 milyar ışık yılı uzaktadır. Bu de demek oluyor ki, biz onun 2,5 milyar yıl önceki halini yani insanlığın varoluşundan bile öncesini görüyoruz.

Parmağımızı hareket ettirdiğimiz deneyimizde de parsek karşımıza çıkıyor. Parsek kelimesi, "paralaks açısı bir yay saniyesi" ("parallax arc second") anlamına gelmektedir. Tam bir daire, her birisi bir yay derecesine eşdeğer olan 360 dereceye bölünmüştür. Yani, bir derece, dairenin $1/360$ 'ı anlamına gelir. Yay dakikası, 1 derecenin $1/60$ 'ına, yay saniyesi de 1 dakikanın $1/60$ 'ına karşılık gelir. Eğer bir cisim Dünya'nın bir parsek ötesindeyse, Dünya, yörüngesinin bir tarafından diğerine gittiğinde, cisim 1 yay saniyesi kadar hareket etmiş görünür. Eğer Dünya'nın yörüngesinin çapını biliyorsanız, biraz geometri yardımıyla, Dünya ile 1 yay saniyesi kadar hareket etmiş olan yıldız arasındaki mesafenin $3,1 \times 10^{16}$ metre olduğunu hesaplayabilirsiniz. Bu da yaklaşık 3,26 ışık yılı anlamına gelir.

Paralaks yöntemini kullanarak yakın komşularımızla aramızdaki mesafeyi ölçmenin verdiği heyecandan sonra, evrenin beklediğimizden çok daha büyük olduğu anlaşıldı. Birçok yıldız, Dünya'nın yörüngesinin zıt noktalarında yapılan gözlemlerde, saptanabilir bir hareket göstermiyor bile. Yani çok uzaktalar. Bu uzak yıldızlar ile aramızdaki mesafeyi ölçmek için biraz tahmine ve birkaç tane de muma ihtiyacımız var.

Standart mum ışığı ile

Fikir oldukça basit. Eğer elimizde özdeş iki mum varsa ve birisi diğerinden daha uzaktaysa, uzaktaki mum yakındakine göre daha sönük gözükecektir. Eğer mumların göreceli parlaklıklarını ölçersek ve yakındaki mumun bize olan mesafesini biliyorsak, daha uzaktaki mum ile aramızdaki mesafeyi bulabiliriz. Benzer şekilde, eğer gökyüzünde aynı parlaklığa sahip iki yıldız varsa ama biri diğerinden daha uzaktaysa, paralaks yöntemiyle, yakın olanın bize uzaklığını bulabilir, sonra da görünür parlaklıkları arasındaki farkı bularak, daha sönük olanın bizden ne kadar uzakta olduğunu bulabiliriz.

Buraya kadar her şey güzel ama iki yıldızın aynı parlaklığa sahip olduğunu nasıl bileceğiz? Belki de sönük görünen yıldız parlak olanla aynı mesafede ama sadece sönük. Belki de parlak yıldız sönük yıldızdan daha uzaktadır ve bu yüzden onu olduğundan daha az parlak görüyoruzdur. Örneğin Avcı (Orion) takımyıldızında bulunan en parlak yıldız Rigel, ana yıldızlardan en sönüğü olan ve Avcı takımyıldızının kemerinde en sağda bulunan Mintaka'dan üç kat daha uzaktadır (Mintaka aslında dört yıldızdan oluşan karmaşık bir sistemdir).

Astronomlar, standart mum olarak kullanabilmek için, aynı parlaklığa sahip belirli yıldız türlerini tanımlamanın bir yolunu bulmalıydılar. Ne mutlu ki, parlaklığını belirli bir doğrulukla tahmin edebileceğimiz yıldız aileleri mevcuttur. Farklı yıldız türleri, farklı çeşitte ve miktarlarda malzemeden oluşur. Bu malzemeler spektroskop yardımıyla belirlenebilir. Dahası, bu yıldız çeşitlerinden biri, diğerlerinden çok belirgin farklılara sahiptir.

Astronomların standart mum olarak kullandığı ilk yıldızlar değişen yıldızlardı. Bu yıldızların parlaklıkları zamanla artar ve azalır. Bu değişim düzenli olarak tekrarlanır. Mum

yerine kullanılan klasik değişen yıldızlara, Cepheus (Kral) takımı yıldızının isminden hareketle Sefe değişenleri adı verilir. Bu yıldızlar bazen içlerindeki reaksiyonlar sebebiyle şiştikleri ve bazen de kütleçekimsel etki sebebiyle çöktükleri bir döngüdeymiş gibi görünürler.

Değişim, çığır açan kadın astronom Henrietta Swan Leavitt tarafından ilk fark edildiğinde sebebi bilinmiyordu. Lisansüstü araştırmacı olarak Harvard Üniversitesi Gözlemevi'nde çalışan Leavitt, Büyük ve Küçük Macellan Bulutu olarak bilinen uydu galaksiler üzerine araştırmalar yapmaktaydı. Çok sayıda değişen yıldız sınıflandıran Leavitt, daha parlak olan yıldızların değişim periyodunun daha uzun olduğunu keşfetti.

Leavitt, 1912 yılında yayımladığı makalede, Küçük Macellan Bulutu'nda bulunan yıldızların gözlenen parlaklıkları ile değişimlerinin periyodu arasında doğrusal bir ilişki olduğunu gösterdi. Gözlemlediği tüm yıldızlar kabaca aynı uzaklıkta olduğundan, yıldızların gerçek parlaklığını ölçmek için, yıldızların parlama ve sönme süresinin kullanılabileceği çıkarımında bulundu. Yani yanıp sönme hızı aynı olan aynı tür iki değişen yıldız bulursanız ve bunlardan biri diğerinden daha parlak ise, daha parlak olan size daha yakındır. Bir yıl sonra, Samanyolu galaksisinde bulunan bu Sefe değişenlerinden birkaçı, Danimarkalı astronom Ejnar Hertzsprung tarafından ölçüldü ve "standart mum" olarak kalibre edildi.

1920'lere geldiğimizde, çok fazla yıldızın konumu ölçülmüştü. Lakin bir şey belirsiz kalmıştı. Samanyolu galaksisi tüm evren miydi? Bütün yıldızlar Samanyolu galaksisinde miydi yoksa bu muazzam yıldız topluluğu, çok daha büyük bir evrene yayılmış pek çok galaksiden yalnızca birisi miydi? O zamanlar bir ucundan öteki ucuna 100.000 ışık yılı uzunlukta olduğu bilinen Samanyolu galaksisinin dışında (ya da Macellan Bulutu gibi uzantıları dışında) bir yıldız henüz keşfedilmemişti.

1923 yılında, Edwin Hubble isimli Amerikalı astronom, kesin bir kanıtlarla ortaya çıktı. Hubble, o zamanlar Andromeda bulutsusu olarak bilinen Andromeda galaksisini araştırıyordu. Güçlü teleskopların yardımıyla, bulutsunun çok sayıda yıldızdan meydana geldiği ortaya çıktı. Ardından, bulutsunun ne kadar uzakta olduğunu bulmak adına, doğru türdeki değişen yıldızı (bir Sefe değişeni) belirledi. Bu sayede Andromeda bulutsusunun 900.000 ışık yılı uzakta, yani Samanyolu galaksisinden çok uzakta olduğunu hesapladı.

Aslında, Hubble uzaklık ölçümünde bir hata yaptı. Birbirine çok benzeyen iki çeşit Sefe değişeni yıldız vardır. Bunlar, benzer parlama ve sönme hızına sahip olsalar da, parlaklıkları ciddi ölçüde farklıdır. Hubble, bir çeşit yıldız, diğer çeşit yıldızla kıyaslıyordu. Bu hata düzeltildikten sonra Andromeda galaksisinin yaklaşık 2,5 milyon ışık yılı uzakta olduğu ortaya çıktı. Gördüğümüz gibi bu uzaklık Andromeda galaksisini çıplak gözle görülebilen en uzak obje yapar.

Hubble'ın, milyarlarca yıldızla sahip Samanyolu galaksisinin, evrenin sadece ufak bir parçası olduğu keşfi yeterince etkileyici bir başarı. Fakat Hubble, daha şaşırtıcı bir keşif ile daha da ileri gitti.

Gittikçe büyüyor

Hubble'ın ikinci büyük başarısı, birkaç yıldır spektroskop kullanarak yaptığı ölçümlerin bir sonucuydu. Bahsettiğimiz gibi spektroskopi, astronomların yıldızların içerisinde hangi elementlerin olduğunu anlamakta kullandığı bir teknolojidir. İlginçtir ki, yıldızların hangi elementlerden oluştuğunu söylemek, ne kadar uzakta olduklarını söylemekten çok daha kolaydır.

Bir şeyleri ısıttığınızda, bu cisimler ışımaya başlar. Fakat gökkuşağı gibi her rengi oluşturmak yerine, farklı element-

ler, oldukça belirli renklerde ışık üretirler. Örneğin sodyum metali, güçlü bir sarı banda sahiptir. Bu, sodyum buharlı sokak lambalarının kendine özgü sarı-turuncu ışığının ardındaki sebeptir. Bu işlem tersine de çalışır. Gökkuşağındaki tüm renkleri içerdiğini bildiğimiz beyaz ışık farklı elementleri içeren yıldız benzeri bir cismin içinden geçtiğinde yukarıda bahsettiğimiz gibi, elementlere göre farklılık gösteren renkleri soğurur. Bu işlem, spektrumda soğrulma çizgisi adı verilen siyah boşluklar oluşturur. Yani, eğer ki yıldızdan gelen ışığın, sodyuma özgü sarı ışığa denk gelen bölgesinde siyah bir bant varsa yıldızda sodyum bulunduğunu söyleyebilirsiniz.

1912’de, Vesto Slipher ve Milton Humason isimli iki Amerikalı astronom; spektroskop yardımıyla, bazı bulutsulardan beklenmedik renklerde ışık geldiğini gözlemlediler. Çizgilerin oluşturduğu desen beklendiği gibiydi; ama renkler yanlış. Çizgiler kaymıştı. Hepimiz, farklı bir çeşit spektrumun kaymasıyla günlük hayatta karşılaşırız. Ambulanstan ya da polis arabasından gelen sesin, araç size yaklaşırken, sizi geçerken ve sizden uzaklaşırken tonunun değiştiğini fark etmişsinizdir. Buna Doppler etkisi denir. Olan şey, sesi oluşturan dalgaların; araç size doğru gelirken sıkışması, sizden uzaklaşırken de genişlemesidir. Bu sayede de, duyduğunuz sesin tonu değişir.

Galaksileri duyamayız ancak bize doğru hareket ediyorsa ya da bizden uzaklaşıyorlarsa, gelen ışığın rengi Doppler kaymasına uğrar. Eğer ışığı dalga olarak düşünürseniz, Doppler etkisi ışığın frekansında değişiklik yapar. Işığın frekansını da, rengi sayesinde anlayabiliriz. Eğer ışığın foton denen parçacıklardan oluştuğunu düşünmek istiyorsanız da, bize yaklaşan galaksiden gelen fotonların daha fazla enerjiye, bizden uzaklaşan galaksiden gelen fotonların ise daha az enerjiye sahip olduğunu söyleyebiliriz. Fotonların enerjisini de benzer şekilde, renkleri yardımıyla gözlemleyebiliriz.

Her iki şekilde de, uzaydaki bir cisim bize doğru gelirken ışığı daha mavi hale gelir. Başka bir deyişle, ışık maviye kayar. Kozmik mikrodalga arka plan ışımasıyla birlikte keşfettiğimiz gibi, eğer bir cisim bizden uzaklaşıyorsa ya da aramızdaki uzay genişliyorsa, bu sefer de ışık kırmızıya kayar. Slipher, bahsettiğimiz kırmızıya kaymayı bulutsuların bir kısmında gözlemledi. 1920'lerin ortasında Hubble, galaksilerin de bunu desteklediğini gösterdi. Hubble 1929 yılında, gözlemlenen galaksilerin neredeyse hepsinin kırmızıya kaydığını raporladı. Andromeda galaksisi gibi bize yakın olan birkaç istisna dışında, tüm galaksiler bizden uzaklaşıyordu.

Burada farklı iki etkinin sonuçlarını görmekteyiz. Bize nispeten daha yakın olan Andromeda galaksisi gibi yapılar ve Samanyolu galaksisi arasında oldukça kuvvetli bir kütleçekimsel etkileşim vardır. Andromeda ve Samanyolu, bu etkileşimden dolayı bir çarpışma rotasındadırlar. Ancak endişelenmeye gerek yok. Bu çarpışmaya daha 4 milyar yıl var. Çarpışma gerçekleşene kadar Güneş muhtemelen Dünya'yı çoktan yutmuş olacak. Diğer galaksilere bakacak olursak, çok daha ilginç bir davranış gösterdiklerini görebiliriz. Hepsi kırmızıya kayıyor yani bizden uzaklaşıyor. Başka deyişle, gördüğümüz kadarıyla, evrenin tamamı genişliyor.

Bizim bu genişlemenin merkezinde olmamız garip görünebilir. Çünkü Andromeda gibi birkaç istisna dışındaki tüm galaksiler farklı yönlerde doğru bizden uzaklaşıyorlar. Ancak olan şey oldukça farklı. Buna sebep olan şey galaksilerin hareketi değil, bulundukları uzayın genişlemesi. Bu durum üç boyutta gerçekleştiği için anlamak zor olabilir. Durumu iki boyutta incelemek daha kolay olacaktır.

Bir balon düşünün (bunu evde deneyebilirsiniz). Derinlik olmadığından, balonun yüzeyi iki boyutu modellemek için oldukça güzel bir örnektir. Balonu biraz şişirin ve üzerine kalemle noktalar koyun. Sonra balonu biraz daha şişirin.

İşaretlediğiniz noktaların konumu değişmez, değişemez. Ancak balonun kendisi büyüdüğünden dolayı, üzerindeki noktalar birbirinden uzaklaşır. Bir nokta seçin. Diğer tüm noktaların ondan uzaklaşmış olduğunu göreceksiniz. Benzer şekilde, genişleyen evrende herhangi bir galaksi seçin. Diğer tüm galaksilerin ondan uzaklaştığını göreceksiniz. Yani, gördüklerimize rağmen, Samanyolu özel bir konumda değil.

Hubble daha da ilginç şekilde, galaksinin uzaklığı ne kadar fazlaysa, hızının da o kadar yüksek olduğunu keşfetti. Bu etki daha sonra Hubble yasası olarak adlandırıldı. Hubble, bu verileri yorumlamakla fazla ilgilenmedi, onları sadece sundu. Ancak Rus fizikçi Alexander Friedmann gibi diğer isimler, Einstein'ın genel görelilik kuramının genişleyen evrene nasıl işaret ettiğini gösterdi. Belçikalı fizikçi ve Roma Katolik rahibi Georges Lemaître tarafından önerilen genişleyen evren modelinin vereceği genişleme oranları, Hubble'ın yayınlayacağı genişleme oranlarıyla son derece benzerlik gösteriyordu.

Lemaître, evrenin genişlemesinin son derece önemli bir sonucuna ışık tuttu. Bu sonucu gözünüzde canlandırmak için, genişleyen evrenin (ya da balonumuzun) videosunu çektiğimizi düşünelim ve geriye doğru oynatalım. Balon örneğini düşünecek olursak, filmi geriye oynattıkça, balon git gide küçülecektir. Eğer bu balon çok özel bir balonsa ve istediğiniz kadar küçülebilecekse (yumuşayıp gevşemek yerine), belirli bir zaman sonra tek bir nokta halini alacaktır. Şimdi, bunu tüm evrene uyguladığımızı hayal edelim. Eğer evreni geriye doğru takip ederseniz, evren yaklaşık 13,8 milyar yıl önce nokta halini alacaktır. Bu, bazen büyük patlama olarak da adlandırılan olayın yakınlarıdır.

Evrenin yaşını belirlediğimizde, boyutu hakkında da bir şeyler söyleyebiliriz. En azından, görebileceğimiz uzaklık

hakkında bir sınır belirleyebiliriz. Eğer ki evren 13,8 milyar yıl önce oluşmuşsa, evren oluşmadan önce yola çıkması pek mümkün olmadığından, ışığın seyahat edebileceği en uzun süre 13,8 milyar yıldır.* Bunun, gözlemlenebilir evrenin 27,6 milyar ışık yılı çapında olması anlamına geldiğini düşünebilirsiniz (çünkü ışık bize her yönden 13,8 milyar yıldır geliyor). Eğer bu doğru olsaydı, evrenin genişlemediği anlamına gelirdi. Fakat biz evrenin genişlediğini biliyoruz.

Eğer ışık bize ulaşmak için 13,8 yıldır seyahat ediyorsa, bu onun 13,8 milyar yıl önce oluştuğu anlamına gelir. Ancak ışığın yolculuğu sırasında evren genişledi. Hem de çok fazla. Hatta, öylesine fazla genişledi ki, en uzaktan gelen ışığın gösterdiği cisimler şu an 45,5 milyar yıl uzaktalar. Bu sayede, evrenin en az 91 milyar ışık yılı çapında olduğunu güvenle söyleyebiliriz. Bu değer daha büyük olabilir, hatta sonsuz da olabilir; fakat bu, bizim görebileceğimiz büyüklüğün sınırıdır.

Evren modelimizin, eski Yunanların tüm evrenin güneş sistemi ve onu çevreleyen yıldızlardan oluştuğu fikrinden bu yana ne kadar değiştiğini görmek hayret verici. Rönesans'a kadar, başka bir şey olmadığı düşünülüyordu; sadece Güneş, birkaç gezegen ve yüz kadar yıldız. Derken, daha iyi ekipmanlar yardımıyla, evrenin, içinde milyarlarca yıldız bulunan Samanyolu galaksisinden ibaret olduğunu düşünmeye başladık. Şimdi ise, içerisinde 100 trilyona kadar yıldız bulundurabilen galaksiler olduğunu biliyoruz. Galaksilerin sayısı ise hiç de az değil. Gözlemlenebilir evrende, yaklaşık 150 milyar kadar galaksi bulunmakta.

Bu yıldızların çoğu, bizim yıldızımızdan oldukça farklı. Sadece, bizim yıldızımıza benzeyen yıldızları göz önün-

* 3. Bölüm'de gördüğümüz gibi; evren ilk başlarda saydam olmadığından, bu süre 13,5 milyar yıldır.

de bulundurursak bile, yalnızca Samanyolu galaksisinde 50 milyara yakın gezegen var olabilir. Yakın zamana dek, diğer yıldızların da gezegene sahip olup olmadığını söylemek imkânsızdı. Bu gezegenler, yıldızlarının yansıyan ışığıyla tespit edilemeyecek kadar uzaktadırlar ama gezegenler yıldız etrafında dönerken, yıldızın fark edilebilir şekilde yalpalamasına sebep olurlar.

Yıldızların yalpalamasını ölçerek, yörüngelerinde ne olduğunu çıkartabiliriz. Bu kitap yazılırken, güneş sistemi dışında yaklaşık 4000 gezegen keşfedildi. Jüpiter gibi büyük olanları keşfetmek (çoğunlukla yaşama elverişsizdirler) nispeten daha kolaydır. Çünkü en büyük etkiyi onlar oluştururlar ama keşfedilmiş olan daha küçük ve yaşam barındırabilir gezegenler de vardır. Evren, kuşkusuz olağanüstü bir yer.

Evrenin öncesinin hikâyesi

Büyük patlama, evrenin nasıl başladığına dair, en geniş şekilde desteklenen elimizdeki en iyi teoridir. Öyleyse, karanlık enerjiyi ve evrenin genişlemesini keşfetmeye, evrenin yaşam döngüsü ile başlamak doğru gözüküyor. Bu keşfimize başlarken, büyük patlama teorisinin elimizdeki tüm gözlemlere uyması için önemli ölçüde geliştirilmiş olduğunu ve pek çok teoriden yalnızca birisi olduğunu unutmayalım. Kolaylık olması adına, büyük patlamayı bir gerçekmiş gibi ifade edeceğim. Fakat büyük patlama teorisine (bilimde her zaman olduğu gibi), elimizde mevcut olan en uygun teori olarak yaklaşmalıyız. Nihai gerçek olarak değil.

Büyük patlama modeli yaklaşık 13,8 milyar yıl önce, tüm evrenin tekillik adı verilen sonsuz küçük bir nokta formunda olmasıyla başlar. Pek çok insan “Büyük patlamadan önce ne vardı?” sorusunun cevabını merak eder. Temel büyük patlama modelinde cevap oldukça basittir. Büyük patlamadan

önce hiçbir şey yoktur.* Büyük patlamadan önce hiçbir şey yoktu, büyük patlamadan öncesi de yoktu çünkü bizim büyük patlama anlayışımız, Einstein'ın genel görelilik teorisine dayanan bir evren modeline uyuyor.

Genel görelilik teorisi, 20. yüzyıl biliminin en önemli şa-heserlerinden birisiydi. Bu teori, kütleçekimsel kuvvetin nasıl etki ettiğini açıklar. 17. yüzyılda, Isaac Newton kütleçekiminin temel yasasını tanımladı ama kütleçekimsel kuvvetin objeleri nasıl çektiğini açıklamaya yeltenmedi. *Principia* isimli eserinin Latince aslında şöyle yazmıştı: “Hypotheses non fingo.” Yani, “Hiçbir hipotez oluşturmam.”

Genel görelilik, kütleçekimini açıklamaktan daha fazla şey yapar. Uzayın ve zamanın kütle etkisi altında nasıl davrandığını, uzaya ve zamana kütlelerin ne yaptığını açıklar. Bunu yaparken, uzayı ve zamanı ayrı varlıklar olarak değerlendirmez. Böyle yapmak yerine uzayı ve zamanı, zamanın başka ve daha özel bir boyut olduğu uzay-zaman adı verilen tek bir şey olarak değerlendirir. Büyük patlama modelinde, uzay-zaman büyük patlamayla başlar. Uzay-zamanın başlangıcı ise zaman da dahil her şeyin başlangıcıdır. “Büyük patlama öncesi” diye bir şey olamaz çünkü zaman diye bir şey henüz yoktur.

Bu resimde, bilimin elinde büyük patlamanın neden gerçekleştiğini açıklayacak bir mekanizma yok. Büyük patlama neden gerçekleşti? sorusuna “Tanrı yaptı”, “Anlık bir şeydi” ya da “Neden olduğunu anlayamıyoruz” diyerek cevap verebilirsiniz, ama sonuç değişmez. Oldu işte. Standart büyük patlama modeli yardımıyla bir sebep tanımlamak imkânsız. Evren sonsuz derecede küçük bir nokta olarak ortaya çıktı. Bazen evrenin oluşumu, boşluktaki kuantum dalgalanmalar-

* Merak edenler için, büyük patlama kesinlikle evrenin başlangıcı değildir. Evrenin başlangıcından, saniyenin inanılmaz derecede küçük bir kısmı kadar süre sonra başlayan genişlemedir.

rıyla “açıklanır”. Fakat bu açıklama da, kuantum dalgalanmalarına sebep olan fizik yasalarının nereden geldiği sorusuna cevap bulunmasını gerektirir.

Bahsettiğimiz bu ufak varlık, çok kısa bir süre içerisinde büyümeye başladı. Bu başlangıç, yani enerji yoğunluğunun neredeyse sonsuz olduğu dönem, bilimsel teorinin dışındadır. Ancak genişleme başladığında, elimizde bilimi uygulayabileceğimiz bir şeyler var olmuş olur. Bu varlık, hâlâ çok küçük bir şeydir. Atomdan bile çok daha küçüktür. Şu an evrende gördüğümüz her şeyin; her yıldızın ve gezegenin, her bir galaksinin içindeki her maddenin bu kadar küçük bir hacme sıkışmış olması kafa karıştırıcı olabilir.

Hiç kuşkusuz, atomlar çoğunlukla boşluktan oluşmaktadır. Yani, vücudunuzun açık ara en büyük bileşeni boşluktur. Eğer herhangi bir atomu büyütürseniz, atomun merkezi kısmı olan ve ağırlığının çoğunu oluşturan çekirdek; katedral büyüklüğünde bir atomda, yalnızca sinek büyüklüğünde olurdu. Atom, dışındaki olasılık bulutlarında takılan birkaç elektron haricinde tamamen boşluktan oluşur. Evrenin ilk safhalarında, bu boş alandan kurtulmanın bir yolu olsa bile, hâlâ bir sorunumuz olurdu.

Tüm insanlığı alsanız ve atomlarındaki boşluğu çıkarsanız (caniler için ufak bir hatırlatma: bu fiziksel olarak mümkün değildir), tüm insanlık yaklaşık bir küp şeker hacmine sığdırılabilirdi. Biz ise, tüm yıldızlar ve galaksiler ile birlikte evreni, atomdan bile daha küçük bir hacme sıkıştırmaktan söz ediyoruz. Bu pek mümkün gözüküyor.

Fakat bunu mümkün kılan iki önemli etkenden söz edebiliriz. Birincisi, evrenin erken dönemlerinde içinde herhangi bir madde bulunmamaktaydı. Bahsettiğimiz gibi, Einstein’ın diğer bir önemli çalışması olan özel görelilik, $E=mc^2$ denklemini içeriyordu. Bu denklem, enerji ve maddenin nasıl birbirine dönüşebildiğini açıklar ve enerji, madde gibi yer kaplamaz.

Evrenin ufak bir noktaya sığabilmesine katkı sağlayan diğer bir etken ise tuhaf şekilde evrenin şu anki haline gelmesi için bu kadar fazla maddeye gerek duymamasıydı. Bunun sebebi, kütleçekiminin bir çeşit negatif enerji olarak değerlendirilebilmesidir.* Evrendeki tüm kütleyi, kütleçekim kuvvetiyle birleştirirseniz, birbirlerini çok güzel şekilde sadeleştirirler. Yani, ilk oluştuğunda, evrenin o kadar da fazla (belki de hiç) içeriğe sahip olması gerekmiyordu.

İlk önemli olay oldukça kısa zaman sonra gerçekleşti. Başlangıçtan yaklaşık 10^{-36} saniye sonra, evrenin enflasyon denilen kısa bir aşamadan geçtiği düşünülmektedir. Bu aşama tıpkı şu an gözlemlediğimiz gibi, bir çeşit genişlemedir ama genişleme bu aşamada olağanüstü bir hızdadır. Bu noktada ufak bir hatırlatma yapalım. 10^{-36} , 1'i 10^{36} 'ya bölmekle aynı şeydir. 10^{36} da ise 1'in yanına gelen 36 tane sıfır anlamına gelir. Yani bu aşama, evren yalnızca 1/1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 yaşındayken gerçekleşti.

Enflasyon uzun bir aşama değildi ama büyüme inanılmazdı. Enflasyon aşaması sona erdiğinde, evren hâlâ yalnızca 10^{-32} yaşındaydı. Bu destansı genişleme, bir saniyenin gülünç derecede küçük bir bölümünde gerçekleşti. Yine de, bu sürede evren en az 10^{30} kat, muhtemelen de 10^{70} kat büyüdü. Bu sayıları dikkatlice inceleyin. Hâlâ devasa bir evrenden bahsetmiyoruz. Günümüzdeki galaksilerden, hatta muhtemelen greyfurttan bile daha küçüktü ama öncesinde çok daha küçüktü. Bu kadar hızlı bir şekilde büyümek için, evrenin ışık hızından çok daha hızlı genişlemesi gerekirdi.

* Birbirinden uzakta ve hareketsiz iki cisim düşünün. Kinetik enerjileri ve birbirlerinden çok uzakta oldukları için kütleçekimsel potansiyel enerjileri sıfırdır. Lakin yakınlarken, iki cisim birbirlerine doğru ivmelenir. Bu da, hem kütleçekimsel potansiyelin hem de kinetik enerjinin artmasına sebep olur. Enerji yoktan var edilemeyeceği için bu, kütleçekim potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye kıyasla negatif olması gerektiği anlamına gelir.

Burada bir problem var gibi gözüküyor çünkü Einstein'ın özel görelilik teorisi bize aynı zamanda hiçbir şeyin ışığın vakumdaki hızından daha hızlı gidemeyeceğini söylüyor (yaklaşık olarak saniyede 300.000 km). Fakat hatırlamalıyız ki, evren genişlerken, galaksilerde kırmızıya kayma şeklinde gözlemlediğimiz genişlemede de enflasyon dediğimiz süper hızlı genişlemede de, hareket eden şey uzaydaki cisimler değildir. Uzayın kendisi genişler ve bunun gerçekleşmesi için bir hız limiti yoktur.

Evren saniyenin yalnızca ufak bir kesri yaşındayken öylesine sıcaktı ki, saf enerjiden oluşan madde parçacıkları atom değildi; proton, nötron ve elektron gibi tanıdık atomaltı parçacıklar da değildi. Kuarktı. Şu anda etrafta kuark görmüyoruz çünkü protonu ya da nötronu parçalamak için çok miktarda enerji gerekiyor. Fakat yaşı saniyeden bile kısa olan evrende bu gizemli parçacıklar, kuark gluon plazması olarak bilinen şeyi oluşturan, maddenin doğal formuydu.

Evren yaklaşık 1 saniyelikken, proton ve nötronların oluşabileceği kadar soğudu (bu, evren genişledikçe parçacıkların enerjisinin azaldığı anlamına geliyor). Lakin oluşan şeyler, yalnızca aşına olduğumuz maddeler değildi. Aynı zamanda eşit miktarda (ya da neredeyse eşit miktarda) antimadde de oluştu. Oluşan proton ve nötronların büyük çoğunluğu, biraz sonra antimadde karşılıklarıyla birleştiler ve tekrar enerjiye dönüştüler ama bu olurken aynı zamanda elektrona ve pozitrona (ve diğer ilgili parçacıklara) dönüştüler. Birkaç saniye içerisinde, oluşan bu parçacıklar da birbirlerini yok ettiler. Yine de, madde ile antimadde arasındaki simetride bir sorun var gibi gözüküyordu. Yani geride bir miktar madde parçacığı kalmıştı. Bu etkinin şu an etrafta gördüğümüz madde miktarını açıklamak için yeterli olup olmadığı pek net değil. Bu, büyük patlama teorisinin en zayıf yönlerinden birisi. Ancak biliyoruz ki, evrende çok fazla antimadde görmüyoruz. Yani, bu dengeyi bozacak bir şeyler olmuş olmalı.

Böylece, evrenin yaklaşık 3. dakikasına gelmiş bulunuyoruz ve bu noktada evren çoğunlukla fotonlar biçiminde enerjiden oluşuyor ancak evrende aynı zamanda madde de bulunuyor. Evrenin ilerleyen birkaç dakikası, büyük kütleli bir yıldız gibi davranmak için yeterli sıcaklığa ve basınca sahipti. Evren, bugün Güneş'in yaptığı gibi, Hidrojen iyonlarını (elektronu bulunmayan hidrojen atomunu) helyum iyonuna dönüştürüyordu. Füzyon süreci yalnızca birkaç dakika sürdü. Bu süreçte evrenin sıcaklığı 1 milyar °C'den 10 milyon °C'ye düştü. Evrenin genişlemesi, evreni yıldızların oluşması için aşılması gereken sınırların ötesine taşıdığı.

Şimdiye kadar evren, hidrojen, helyum ve ağırlık sıralamasında bir sonra gelen elementi yani lityumu içeriyordu. Bu noktada, tüm bu maddeler iyon yapısındaydı yani elektronların bağımsız şekilde etrafta dolaştığı, pozitif yüklü parçacıklar şeklindeydi. Bu plazma yapısındaki yükler, fotonların uzağa gitmesini zorlaştırıyordu çünkü fotonlar çok kolay şekilde yüklü parçacıklarla etkileşiyorlardı. Bu yüzden, evren erken dönemlerinde saydam değildi.

Bir yıldızın halini andıran bu erken dönemin ardından evren uzun bir süre genişledi ve soğudu. Yaklaşık 370.000 yıl sonra, bahsettiğimiz hidrojen, helyum ve lityum, elektronların onlara bağlanabilmesini kolaylaştıracak kadar enerji kaybetti. Bu da onların artık iyon değil; hidrojen, helyum ve lityum atomu haline gelmelerine yol açtı. Böylece, uygun atomlar oluşmuş oldu ve evren saydam hale geldi. Artık, fotonlar soğrulmadan, özgürce uzun mesafeler katedebileceklerdi. Bunun gerçekleşmesi, bizi zamanda çok önemli bir noktaya getiriyor, üzerine konuşmuş olduğumuz gibi, kozmik arka plan ışımasına.

Bu noktada, inanılmaz hızlı olan enflasyon sağ olsun, evren eşit miktarda dağılmış maddeye sahipti. Bu dağılımın yoğunluğunda, bireysel parçacıkların hareketi sebebiyle ufak

değişimler söz konusuydu. Bu son derece normaldi çünkü parçacıklar, kuantum teorisinin öngördüğü gibi, rastgele davranışlar sergiliyorlardı. Fakat zaman geçtikçe, yoğunluktaki bu ufak farklılıklar büyümeye başladı. Eğer evrendeki tüm madde tamamen eşit olarak yayılsaydı, evren hareketsiz kalabilirdi ama ufak madde kümelerinin olduğu yerler, diğer parçacıkları kütleçekimsel etki ile biraz daha fazla kendilerine çekiyorlardı.

Biraz daha zaman geçti ve evrenin 100 milyon ile 1 milyar yıl yaşları arasında bu madde yığınları öylesine büyüdü ki, yıldızları ve şu an bizim kuasar dediğimiz, galaksilerin erken evrelerini oluşturdu. Kuasalar son derece parlak yıldızlar gibi gözüktüklerinden; kuasar (quasar) ifadesi “Quasi-stellar object” yani “yıldız benzeri cisim” anlamına gelir. Oldukça uzakta olmalarına rağmen, herhangi bir yıldızdan çok daha parlaktırlar. Milyarlarca yıllık evrimsel zaman ölçeğinde, şu an bildiğimiz galaksi ve yıldız yapıları oluşmaya başladı.

Bütün galaksiler ve yıldızlar aynı anda oluşmadılar. Samanyolu galaksisinin dış halesinde bulunan bazı yıldızlar 13 milyar yaşında olsa bile; galaksinin kökenini evrenin erken dönemlerinde incelemek istediğimizde, ana diskin yaklaşık 8,5 milyar yıl önce; yani evren çoktan 5 milyar yıldan daha yaşlıyken oluştuğunu görürüz. Ancak oluşum süreci sürekli bir şeydir ve kütleçekiminin ısrarcı kuvveti tarafından yönlendirilir. Örneğin güneş sistemimiz, yaklaşık 5 milyar yıl önce, eski nesil yıldızlardan kalan materyaller ve büyük patlamanın kalıntıları ile oluşmaya başladı. 4,5 milyar yıl önce ise güneş sisteminin temel yapısı şu an bildiğimiz halini aldı.

Genişleme devam ediyor. Evren, 13,8 milyar yıldır olduğu gibi soğumaya devam ediyor. Yıldızlar hâlâ oluşuyor ve hâlâ patlıyor. Evrenin evrim süreci, biz etrafımızdaki gökyüzünü izlerken hâlâ devam eden bir süreçtir. 1920’lerde genişlemeyi keşfettik ve bu da bizi büyük patlama modeline götürdü. Bu

yeni kavrayış çok dikkat çekiciydi, fakat bir başka keşfin gölgesinde kalacaktı: Genişleme sabit değildi. Peki, sabit değilse ne oluyordu, kütleçekimi etkisiyle yavaşlıyor muydu?

Hayır, genişleme hızlanıyordu.

Şampanya süpernovası

Fritz Zwicky'nin en az karanlık maddenin etkisini tanımlayan çalışması kadar önemli olan bir başka çalışması da, süpernovalar üstüne 1930 yılında başlayan ve kariyeri boyunca devam eden araştırmalarıydı. Yıldızlar füzyona uygun olan hidrojen yakıtını tüketip daha ağır elementlerle füzyon yapmaya başladıklarında yaşlanma sürecinden geçerler. Bu süreçte Güneş'imiz gibi bazı yıldızlar şişerek kırmızı deve dönüşürler ve yaşlandıklarında da beyaz cüce halini alırlar. Diğerleri ise ömürlerinin sonuna geldiklerinde, dramatik bir şekilde çökerler. Beyaz cücelerin, doğru boyuttaki (Güneş'ten daha büyük) özel bir türü ise, çöküş sırasında çok kararsız bir hale gelir ve bu sayede muazzam bir nükleer patlamaya sebep olur. Buna süpernova denir.

Yıldızın boyutu ve oluşum sürecine bağlı olarak, birkaç farklı süpernova çeşidi vardır. Sınıflandırılan ilk örnekler, tip Ia ve tip II idi. Tip Ia süpernova formu, eski bir beyaz cüce yıldız, onunla ikili sistemde bulunan başka bir yıldızdan malzeme çaldığında oluşur. Bu durum, beyaz cüceyi, bu tür yıldızların kararlı olduğu yaklaşık 1,4 Güneş kütlesinin üzerine çıkartır. Bunun sonucunda, yıldızdaki enerjinin çoğu ani ve şiddetli bir nükleer reaksiyonla patlar. Tip II süpernovalar ise

aksine, daha yaşlı ve kütlesi Güneş'inkinden yaklaşık 8 ile 50 kat daha fazla olan yıldızların çekirdeği içeriye doğru patladığında gerçekleşir. Yıldızın dış katmanı ise dışarıya doğru patlar ve süpernovanın görünür kısmını oluşturur. Ardında da iki dikkat çekici varlıktan birisini bırakır, nötron yıldızı ya da kara delik.

Adından da anlayabileceğimiz gibi bir nötron yıldızı, içe doğru patlayan yıldızın çekirdeğinden kalanlardan, yani nötrondan oluşur. Protonların onları ayıran itici gücü olmadığı için, nötronlar inanılmaz yoğun bir kütleyle çökerler. Eğer üzüm tanesi büyüklüğünde bir parça nötron yıldızınız olsaydı, yaklaşık 100 milyon ton gelirdi. Normal büyüklükteki bir yıldız, ömrünün sonunda Manhattandan adası ile aynı büyüklüğe sahip olur.

Eğer nötron yıldızının yakınına gelebilseydiniz bu pek de hoş bir deneyim olmazdı. Öncelikle, bu yıldızlar son derece sıcaktır. Güneş'in yüzeyi yaklaşık 5500°C 'dir (iç katmanların sıcaklığı çok daha yüksektir ama doğrudan deneyimlediğimiz bölge yüzeyidir). Süpernova aşamasına geçmiş bir yıldızın çökmüş çekirdeği olan nötron yıldızı ise $1.000.000^{\circ}\text{C}$ 'ye varan sıcaklığa ulaşabilir. Ayrıca, bir nötron yıldızına, hacmi küçük olduğu için sıradan bir yıldızdan çok daha fazla yaklaşabilirsiniz. Lakin nötron yıldızının size uyguladığı gelgit kuvveti de normalden çok daha büyük olacaktır. Bir nötron yıldızına yaklaştığınızda, uzay aracınızın iki ucuna uygulanan çekim kuvveti arasında büyük bir fark olacaktır.

Sonuç olarak, uzay aracının yıldıza daha yakın olan ucu, uzaktaki ucundan daha fazla çekilecek ve uzay geminiz ince bir şerit halini alana kadar gerilecektir. Astronomlar arasında bu durum "spagettileşme" etkisi olarak bilinmektedir. Tabii aynı süreç sizin için de geçerlidir, böyle bir durumda, bir spagetti çubuğuna dönüşene kadar gerilirsiniz. Nötron yıldızları, kozmik dünyanın kötü çocuklarıdır. Fakat bu kötü çocuklar

bile, tip II süpernovanın diğer bir muhtemel ürünü olan kara delik ile karşılaştırıldıklarında çekingen kalırlar.

Kara delikler, uzay mitolojisinin ve kurgusal uzay yolculuklarının bir parçası haline gelmiştir. Filmlerde çoğu zaman tamamıyla siyah ve etrafındaki her şeyi çeken süpürgeler gibi dayanılmaz çekim gücüne sahip küreler olarak tasvir edilmişlerdir. Hollywood, bir kara deliğin yakınına gittiğinizde, ne yaparsanız yapın kaçınılmaz şekilde kara deliğin sizi içine çekeceğini söyler. Gerçek bundan oldukça farklıdır. Bir kara delik, çökmeden önce sahip olduğu kütleçekim kuvvetinin aynısına sahiptir ama kara deliğe, nötron yıldızına yaklaşılabileceğinizden bile fazla yaklaşabilirsiniz.

Kara deliğin oluşumunda rol oynayan kütleçekim kuvveti o kadar yüksektir ki, parçacıkların birbirine çok yakın olmasını engelleyen Pauli dışlama ilkesinin bile üstesinden gelir. Prensipite, kara deliğin içindeki durum, tekillik olarak adlandırılan, büyük patlama hakkında konuşurken bahsettiğimiz duruma benzer (bkz. s. 100); her şey boyutsuz bir noktaya çökmüştür. Kara deliğin dışı olarak düşündüğümüz bölge, aslında onun olay ufkuudur. Yani, ışığın bile kaçamayacağı kadar yüksek kütleçekim kuvvetine sahip olan, kara deliğin dışındaki küresel yapı. Kara deliklerin doğası, davranışlarını tanımlayan sayılar sonsuza gittiği için, son derece spekülatiftir. Bu da aslında teorimizin parçalandığının bir göstergesidir. Elimizdeki kanıtlar, kara deliği andıran yapıların gerçekten de var olduğunu gösteriyor. Bunları iki başlıkta toplamak gerekirse; süpernova kökenli ve yıldız boyutundaki formda olanlar ve tüm galaksilerin olmasa bile, çoğunun kalbinde bulunan süper kütleli kara delik formunda olanlar.

Konuştüğümüz bu iki tip (tip Ia ve tip II) süpernova, ardından ne bırakırsa bıraksın; bu süreç gerçekleşirken galaksinin tamamından bile daha parlak olabilen, kısa süreli ve yoğun miktarda ışık saçar. Bu iki süpernova birbirinden ayırt edile-

bilir çünkü tip II süpernovanın spektrumu, içerisinde hidrojen barındırırken, tip I'de hidrojen bulunmaz (tip I süpernovalar, üç alt kategoriye ayrılır. Tip Ia silikon içerirken, tip Ib helyum içerir. Tip Ic ise ikisini de içermez). Bahsettiğimiz gibi astronomlar, öngörülebilir parlaklığa sahip olan cisimleri, örneğin Sefe değişeni yıldızları, standart mum olarak kullanırlar. Bu sayede, paralaks yönteminin mümkün kıldığından çok daha uzaktaki objelerin bize olan uzaklığını ölçebilirler ancak uzaktaki galaksilerde bulunan normal yıldızlar, tek tek belirlenecek kadar parlak değildir. Bu yüzden, daha parlak olan bir şey, örneğin bir süpernova, açık şekilde yeni bir standart mum olmaya adaydır. Bu durum teoride oldukça açık olsa da, tip Ia süper novaları sabit ışık kaynağı olarak kullanmak ve galaksilerin bize olan uzaklığını onlar yardımıyla ölçmek, bu fikir ortaya atıldıktan 50 yıl sonrasına yani 1980'lere kadar mümkün olmayacaktı.

Fikir kulağa basit gelse de, pratikte süpernovalar değişen yıldızlardan çok daha az güvenilir standart mumlardı. Problemlerden biri, parlamaları belirlemenin güçlüğüydü. Süpernovalar, Dünya'dan yalnızca birkaç gün ya da hafta görülebilen özel olaylardır. Onları bulmak için, yeni bir yıldız gibi görünen şeyin ortaya çıkması beklenmelidir. Bunu ayırt etmek için de teleskoplardan farklı zamanlarda alınan görüntülerin özenli bir şekilde karşılaştırılması gerekir. İlk araştırmalar tek bir süpernova bile göremeden aylarca sürdü.

Süpernovaları standart mum olarak kullanmayla ilgili diğer büyük sorun ise tutarlılıktı. 1990'ların başında, standart mum olmak için en iyi aday olan tip Ia süpernovalar arasında bile dikkate değer farklılıklar olduğu fark edildi. Bu, aynı galakside iki farklı tip Ia süpernova keşfedilmesiyle daha da netleşti. İki süpernova, Dünya'ya aşağı yukarı aynı uzaklıktaydı ama bir tanesi diğerinden 10 kat daha parlaktı. İki süpernova aynı parlaklığa sahip olsa bile, birisi daha fazla kozmik toz

içeriyorsa, aynı mesafede olsalar dahi farklı görünebilirler. Bu da, incelenen galaksilerden çok daha yakın olan değişen yıldızların sahip olduğundan daha fazla problem anlamına gelir. Süpernovaları standart mum olarak kullanma çabamızın tamamı, potansiyel zorluklarla doluydu.

Neyse ki yeni teknolojiler astronomlara yeni bir hayat çizgisi sağladı. İlk günlerinden bu yana astronomi, insan gözü-nün ışığı algılama yeteneğine dayanmaktadır. Galileo'nun döneminde merceklerle geliştirilen astronomi için diğer büyük adım ise fotoğraf plakaları olmuştur. 1880'lerde astronomların ekipmanları arasına giren bu teknoloji, aynı ışık kaynağından gelen ışığın belirli zaman aralıkları için toplanmasını (teleskop Dünya'nın hareketine uygun şekilde hareket ettiği sürece) mümkün kılıyordu. Bu süreç, yıldızdan gelen ışık miktarını önemli ölçüde artırdı. 1980 sonrasında ise, sürekli daha karmaşık hale gelen elektronik dedektörler (modern telefonlarda kullanılan kameraların kuzenleri), gökyüzünün daha gelişmiş fotoğraflarını çekmek için kullanılabilirdi.

Bu dedektörlerin fotoğrafa göre avantajı, sadece daha yoğun bir görüntü oluşturmak değil, aynı zamanda kozmik kaynağın çıktılarını zamana göre gözlemlemeyi mümkün kılmasıydı. Süpernovalar, yıldızın patlaması süresince farklı evrelerden geçtiği için (önce parlama sonra sönme), bu son derece önemli bir faydaydı. Parlaklıktaki değişimin oranını gösteren bir grafik çizdiğimizde, ışık eğrisi adı verilen bir grafik oluşturulabilirdi. Bu grafiği kullanarak, süpernova türleri arasındaki farkları, tiplere ayırmaktan çok daha iyi hale getirmenin mümkün olduğu kanıtlandı. Her süpernova, kendi ışık eğrisinde bir "parmak izine" sahipti. Bu keşif, tip Ia süpernovalarını standart mum olarak kullanılma adaylığına geri taşıdı. Lakin bu teknik keşfedildikten sonra artık tip Ia süpernovalarını standart mum olarak kullanmaya gerek kalmamıştı. Artık bu süpernovalar kalibre edilmiş mumlardı. Bir

ışık eğrisinin şeklinden, süpernovaya olan uzaklığı elde etmek mümkündü.

Süpernovalar, kırmızıya kayma ile birlikte karanlık enerjinin keşfinde kritik bir rol oynar. Hubble ve diğer araştırmacıların farklı galaksilerdeki kırmızıya kaymaya bakarak, evrenin genişleme hızını keşfettiklerini konuşmuştuk. Astronomlar, galaksilerin kırmızıya kaymasını ve galaksilerin bize olan uzaklığını birleştirerek evrenin genişlemesinin yavaşlama miktarını bulmayı umuyorlardı.

Genişlemenin yavaşlaması gerektiği hemen hemen belliydi. Evrendeki her şey diğer her şeyi kendine çeker. Kütleçekiminin bir etki limiti yoktur. Yani, belirli bir zaman sonra, galaksiler arası kütleçekimsel etkileşimin, genişlemenin üstesinden gelmesi bekleniyordu. Çok uzaktaki galaksileri (ışığın bize ulaşma süresinden dolayı milyarlarca yıl önceki hallerini) gözlemleyerek ve bu gözlemleri onların bize olan uzaklığıyla birleştirerek, genişlemenin erken dönemlerden bu yana ne kadar değiştiğini anlamak mümkün olmalıydı.

Astronomlar ve fizikçiler

1990'lerde, süpernova türlerinin anlaşılmasıyla ve süpernovaları tespit eden teknolojilerimizin ilerlemesiyle; iki takım, evrenin genişlemesindeki yavaşlamayı ölçmek adına kafa kafa giden çalışmalara başladılar. Bu iki grup, farklı geçmişlere sahipti. Tahmin edilebileceği gibi, bir grup astronomlardan oluşuyordu, diğeri ise fizikçilerden.

Astronomi, fizikten yüzlerce yıl daha fazla geçmişe sahiptir ve astronomlar her zaman işleri kendi bildikleri yolla yapma eğilimindedir. Bu ayrım, tartışmalı olarak matematik ile doğa felsefesi arasındaki tarihsel ayrılığa dayanır. Doğa felsefesi artık bilim olarak adlandırılmaktadır. He ne kadar şimdi matematiği ve bilimi bir bütün gibi değerlendirsek de (ör-

neğin, Stephen Hawking'in Cambridge'deki eski pozisyonu Uygulamalı Matematik ve Teorik Fizik Bölümü'ndeydi) aslında sayısal temelli olan tek alan astronomiydi ve bu yüzden matematiğin bir parçası olarak değerlendiriliyordu. Bilimler ise, sayısal temelden ziyade, nitel olarak değerlendiriliyordu.

Şimdi astronomi, fiziğin içinde toplanma eğilimi gösterse de, bu iki alanın uygulayıcıları çoğu zaman birbirlerinden farklı zihniyete sahiptir. Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan en aktif fizik merkezlerinden biri olan Lawrence Berkeley Laboratuvarı'nda bulunan bir grup, konu süpernovalar üzerine çalışmaya geldiğinde, astronom rakiplerine üstünlük sağlayacak bir kavrayışa sahip olduklarını hissetti.

Grup, karanlık madde tespiti alanında daha önce tanıştığımız Berkeley'de bulunan Parçacık Astrofiziği Merkezi bünyesinde çalışıyordu. Karanlık madde gerçekten de 1988'de kurulmuş olan bu merkezin asıl odağıydı. Organizasyondaki personel, karanlık madde parçacıklarını hem doğrudan hem de karanlık maddenin kozmik mikrodalga arka plan ışıması üzerindeki etkisi sayesinde tespit etmeye çalışıyordu. Ama merkezin yöneticileri, evrende ne kadar madde (hem karanlık hem de bildiğimiz sıradan madde) olduğuyla ilgili daha doğru bir fikre sahip olmanın da önemli olduğunu hissettiler. Bu sorunun cevabını bulmak için, uzaktaki galaksilerin kırmızıya kaymalarını kullanmak ve böylece de evrenin genişlemesinin yavaşlama miktarını hesaplamak gerekiyordu. Bu sayede, gözlemlenen frenleme etkisi için ne kadar madde gerektiğine dair bir tahmin sağlanabilecekti.

Berkeley ekibindekiler fizikçi olsa bile, bazıları zaten süpernova arayışı konusunda tecrübeye sahipti. Saul Perlmutter ve Carl Pennypacker, 1980'lerin ortalarında, gece gökyüzündeki diğer parlak ışıklardan süpernovaları ayırt etmeye yardımcı olacak otomatik sistemler üzerinde çalışmıştı. Tarihsel olarak, bu ayırt etme süreci, aynı bölgenin fotoğraflarını

içeren bir çift fotoğraf plakasının alınması ve gözle bir fark bulma umuduyla bu iki plakaya tekrar tekrar bakılmasıyla yapıldı. Ama elektronik tarama yöntemleri, iki görüntüden veri almayı, birini diğerinden çıkarmayı ve bu sayede kalan kontrast noktalara bakmayı mümkün kıldı. Alınan bu görüntülerde ortaya çıkan ya da kaybolan objeler, süpernovaları ayırt etmede kullanılabiliyordu.

Perlmutter ve Pennypacker, Pennypacker'ın danışmanı Richard Muller ve birkaç lisansüstü öğrenciyle birlikte; Lafayette, Kaliforniya'da bulunan Leuschner Gözlemevi'ndeki 760 milimetre açıklığa sahip teleskobu kullanarak, süpernova avında bazı başarılar elde etti. Berkeley Otomatik Süpernova Araması (BOSA) ekibi tarafından ilk tespit 1986 yılında yapıldı. Ama sadece yakında bulunan birkaç süpernova için veri üretmeyi başardılar. Bu da daha geniş bir evrenin içeriği üzerine hesaplamalar yapmak için yeterli değildi.

Evrenin genişlemesinin yavaşlaması hakkında işe yarar bir resim elde etmek için çok daha uzaktaki galaksilerden veri almak gerekiyordu. Ekibin, kullandığı nispeten küçük teleskoptan daha büyük araçlara ihtiyacı vardı. Ekip, Avustralya'nın Yeni Güney Galler kentinde bulunan Siding Spring Gözlemevi'ndeki, etkileyici büyüklüğe sahip 3,9 metrelik* Anglo-Avustralya teleskobuna monte edilecek olan yeni ve çok daha yüksek özellikli bir kamera üretmek için fon elde edebildi.

Böylesine yüksek talep gören (ve hâlâ görmekte olan) bir teleskop kullanmış olmanın dezavantajı, ekibe ayrılan gözlem süresinin kesinlikle sınırlı olmasıydı (Berkeley ekibi "gerçek" astronomlardan oluşmadığı için; ayrılan zaman daha bile kısıtlı olabilirdi). Projenin yönetildiği dönem olan

* 100 inçlik Mount Wilson veya 200 inçlik Mount Palomar teleskoplarına ve inç tabanlı ölçüme daha aşına olanlar için; 3,9 metrelik Anglo-Avustralya teleskobunun 154 inçlik bir aynası vardır.

1980'lerin sonundaki 30 aylık süre boyunca, takıma toplamda on iki gözlem gecesi tahsis edildi. Bunların da yalnızca iki bu-çuğu kullanılabilir durumdaydı. Başlangıçta, altı süpernova adayı gözlemlendi ancak daha fazla analiz sonucunda, altısı da elendi. Evrenin, daha önce hiç olmadığı kadar derinlerine bakmaya çalışan ekip, mevcut en ileri teknolojiyi kullanmasına rağmen üç yıllık çalışmanın sonunda hiçbir sonuca ulaşamadı.

Böylesine soylu başarısızlıklar, bilimde nispeten yaygındır. Çoğu deney, açıkça başarısızlıkla sonuçlanır. Prensipte bu iyi bir şeydir. Eğer bilim insanları, başarılı olacaklarından emin oldukları projelerde çalışsalar, bilginin sınırlarını zorlamazlardı. İlerleme, yalnızca risk alarak gerçekleştirilebiliyordu. Yine de, bilim insanları da insandır ve bu sonucun ekip için acı veren bir aksilik olmadığını söylemek haksızlık olur. Bu aksilik yetmezmiş gibi, Berkeley ekibinin, kesenin ağzını büzen kişileri, başarısızlıkla sonuçlanan çalışmayı tekrar yapmaya ikna etmesi gerekiyordu. Her nasılsa Parçacık Astrofiziği Merkezi'ndeki bürokrasiyi, sorunun kullandıkları yöntemde olmadığına ikna etmeyi başardılar. İhtiyaçları olan şey daha iyi bir kamera ve daha uygun bir konuma sahip teleskoptu.

Berkeley ekibinin önerdiği ekipman seçimi ilk bakışta biraz garipti. Isaac Newton teleskobuna geçmek istiyorlardı. Bu 2,5 metrelik teleskop, ilk gözlemini 1967 yılında, Greenwich Gözlemevi'nde (İngiltere Kraliyet Rasathanesi) inşa edildiğinde yapmıştı. Adına rağmen, bu gözlemevi Londra'nın Greenwich ilçesinde değildi. 1950'lerde, gözlem koşullarını iyileştirmek adına, Sussex'te bulunan Herstmonceux Kalesi'nin çevresine taşınmıştı. Benzer şekilde teleskobun kendisi de 1979 yılında Kanarya Adaları'nda bulunan La Palma'ya taşınmıştı. Buradaki hava durumu, bulutlu İngiltere'ye kıyasla gözlem yapmak için çok daha elverişliydi.

Berkeley ekibi Kanarya adalarındaki iklimin Avustralya'daki gözlemevinde mümkün olandan çok daha fazla gözlem süresi sağlayacağını umuyordu. Bu, daha gelişmiş bir kamerayla birlikte, daha küçük bir teleskop olmasını telafi etmeliydi. Kuşkusuz, ekip için başka bir şans daha olamazdı. Eğer ki bu deneme de öncekine benzer şekilde sonuçlansaydı, oyun ekip için biterdi.

Süpernova arkeolojisi

Berkeley Süpernova Kozmoloji Projesi (SKP)'nin ilk atılımı, Mayıs 1992'de, yeni alınan görüntüler ile aynı yılın Mart ayında alınan görüntüler karşılaştırılırken gerçekleşti. Gerekli olan şey bir fark tespit etmektir. Ancak bu farklar eğer asteroit gibi yerel bir nesne kaynaklı ise ortadan kaldırılabilirdi. Fakat Mayıs ayında, Saul Perlmutter bir noktadaki ışık yoğunluğunda göz ardı edilemez bir değişim olduğunu keşfetti.

Sonraki birkaç hafta boyunca Saul Perlmutter, dünya genelindeki astronomları, potansiyel süpernovasını kontrol etmeleri için sıkıştırdı. Ancak tek bir görüntü yeterli değildi. Ekibin gözleminin değerli olması için doğrulamaya ve daha fazla veriye ihtiyaç vardı. Teleskop kullanma süreleri çok kısıtlı ve katıydı, ayrıca belirli projeler için çoğunlukla aylar öncesinden rezervasyon yapıliyordu. Perlmutter kendi çalışmasını doğrulamak adına astronomların kendi çalışmalarını bir kenara bırakmasını istiyordu ve kendisi topluluğun bir parçası bile değildi. Diğerlerini yine de, süpernovanın varlığını doğrulamak ve ışık eğrisini çizmek için destekleyici veri sağlamaya ikna etmeyi başardı.

Konu, galaksinin bizim galaksimize göre nasıl hareket ettiğini belirlemede son derece büyük öneme sahip olan süpernovanın kırmızıya kaymasının tespitine geldiğinde, işler daha az sorunsuz gitmeye başladı. Perlmutter, kırmızıya

kaymayı 12 farklı durumda tespit etmek için gerekli spektroskopik okumayı yapmaya daha fazla gözlemegini ikna etti. Hatırlarsanız, süpernovadaki kırmızıya kaymayı fark etmek, farklı elementler tarafından üretilen çizgilerin, spektrumdaki gerçek konumlarından ne kadar kaydığını görmeye bağlıydı. Bu 12 gözlemin 11 tanesi kötü hava koşullarının hışmına uğradı. 12. gözlemde ise teknolojik sorunlar yaşandı. Sonuç olarak, yeni süpernova için spektroskopik veri hâlâ yoktu.

Ağustos 1992'ye böyle gelindi. Perlmutter, çok isteksiz bir astronomu veri almaya ikna etmek için son bir girişim yaptı. La Palma'daki Isaac Newton ile aynı gözlem alanında bulunan 4,2 metrelik William Herschel teleskobu, kullanılabilir spektrumlar üretmeyi başardı. SKP ekibi, kırmızıya kaymada rekor kıran ilk uzak süpernovayı tamamen yakalamıştı. Önceden keşfedilmiş en uzak süpernova, bizi zamanda yaklaşık 3,5 milyar yıl geriye götürüyordu. Ekibin keşfettiği bu süpernova ise, 4,7 milyar yıl geriye uzanıyordu, yani evrenin yaşının yaklaşık üçte birine.

Bu keşif, astronomi topluluğu tarafından şüphe ile karşılanmıştı. Özellikle de süpernovalar üzerine uzmanlaşmış olanlar; Perlmutter ve ekibinin gözlem yapma pratiğine ve araya giren kozmik toz gibi faktörlerle başa çıkacak yeteneklere sahip olmadığını düşünüyorlardı. Ama 1994 yılında Berkeley SKP ekibi bir adım daha ileri gitti. 1994'ün ilk aylarında, yalnızca altı gece gözlem yaparak altı uzak süpernova keşfetmeyi başardılar.

Astronomlar misilleme yapıyor

Daha önceki denemelerle karşılaştırıldığında uzak süpernova fabrikası gibi çalışan Berkeley ekibinin çarpıcı başarısı, Harvard Üniversitesi'nden Brian Schmidt ve Şili'deki bir gözleminde çalışan Nicholas Suntzeff de dahil olmak üzere bir

grup astronomu, burnunu bir şeylere sokmayı seven fizikçileri yanlarına almaya teşvik etti.

Bilgisayar görüntülerini karşılaştırmak için gerekli olan temel yazılımı üretmeye uğraşan bu rakipler, ilk gözlemlerini Şili gözlemevinden yapabildiler (o dönemlerde Schmidt Avustralya'da görevde olduğu için bu biraz zordu). Berkeley ekibi gibi, denemelerinin pek çoğu başarısız oldu ancak yapılan son bir gözlem, bu sefer bizi 4,9 milyar yıl geriye götürüyordu ve bu, Berkeley ekibinin rekorunu kırmak demekti.

Bu sırada SKP ekibi de boş durmamıştı. 1994 ve 1995'te, süpernova keşfine endüstriyel ölçekte bir yaklaşım geliştirdiler. Tek bir gecede yüzlerce galaksi gözlemleyeceklerdi, hatta birkaç hafta sonra da aynı galaksi grubunu tekrar gözlemleyebileceklerdi. Böylece potansiyel süpernovaları daha gelişmiş yazılımlarla yalnızca saatler içinde keşfedebileceklerdi. Daha sonra da, yaptıkları bu gözlemleri doğrulamak ve spektroskopik okuma yapmak için diğer gözlemevlerini kullanabileceklerdi. SKP ekibi artık her şeye burnunu sokan, tecrübesiz bilim insanları değildi. Artık destek için çabalamak yerine, gözlemlerini resmi olarak desteklemek adına teleskop rezervasyonu yaptırabiliyorlardı.

O zamana kadar, Berkeley SKP fizikçileri bir dizi gözlem yapabilmişken, Harvard ve Şili astronomları yalnızca bir gözlem yapabilmişti. Bu aynı zamanda çok farklı bir yaklaşımı yansıtıyordu. Fizikçiler, "önce süpernovaları bulalım, onlarla ne yapacağımıza sonra karar veririz" diye düşünüyorlardı. Buna karşılık astronomlar, başlangıçta çok fazla süpernova bulma konusunda pek de endişe etmiyorlardı. Bunun yerine, verileri nasıl yorumlayacaklarını keşfetmeye çalışıyorlardı. Bunlar tip Ia süpernovalar mıydı? Araya giren kozmik toz, alınan verileri bozuyor olabilir miydi? Eğer bozuyorsa, bunu düzeltmek için ne yapabilirlerdi? Ve bu süpernovaları, mesafeyi etkili bir şekilde belirlemek için nasıl kullanabilirlerdi?

1995 yılının sonbaharında, o zamanlar High-z (Yüksek-z) adıyla bilinen ekip ("z", kırmızıya kaymayı ifade etmek için kullanılan semboldür. Z ne kadar yüksekse, galaksi o kadar hızlı uzaklaşıyordur), ilk keşiflerini devam ettirmek ve Şili'de bir dizi gözlem yapmak için hazırды. Ekip artık evrenin genişleme oranı hakkında gözlem yapmak için tip Ia süpernova ışıık eğrilerini ve kırmızıya kayma verilerini doğru bir şekilde kullanabileceğinden emindi. Şimdi, aralarındaki rekabete sıcaklık katmak için, iki ekip birbirini takip eden gecelerde, Şili'deki aynı teleskobu kullanmaya başlıyorlardı. Sonuç olarak, SKP ekibi, gözlem sayısını 22 süpernovaya çıkardı.

Berkeley fizikçileri, ellerinden gelen her şeyi yapmaya karar verdiler ve Hubble Uzay Teleskobu'ndan gözlem süresi istediler. Çapı sadece 2,4 metre olan bu teleskop, Dünya üzerinde bulunan eşdeğerlerinin çoğundan daha küçüktü. Ancak uydu tabanlı bir teleskop olması sebebiyle, aldığı görüntüler atmosferden ileri gelen parazitlerden etkilenmiyordu. Bu sayede, son derece uzak süpernovaların rakipsiz şekilde gözlemlenmesi mümkündü. 1990'da başlatılan ve 1993'teki fırlatma görevi ile hizmete açılan Hubble, sorunsuz şekilde süpernova aramak için kesin bir fırsat sağladı. Uzayda, kötü hava koşulu diye bir şey yoktu.

Hubble direktörü Bob Williams, Berkeley fizikçilerine zaman tanımaya sıcak bakıyordu, ancak High-z ekibine danıştı. Ekibin ilk çabası, Hubble'ın sadece Dünya'dan yapılamayacak gözlemlerde kullanılması gerektiğine işaret ederek; Williams'ı bu fikirden vazgeçirmektir. Ancak Williams kararı kendisinin vermesi gerektiğini düşünüyordu. High-z ekibi son anda rakiplerine zarar vermeye çalışırken kendilerini bu iş için mümkün olan en iyi aracı kullanmaktan alı koyabileceklerini fark etti. Williams, usulüne uygun olarak, her iki ekibin de uzay teleskobunu kullanmasına izin verdi.

Her iki ekibin de evrenin genişlemesinin yavaşlama hızını hesaplamak için yeterli veriye sahip olması bir iki yıl daha

alacak, yani Eylül 1997'ye kadar sürecekti. Ancak çok geçmeden her iki ekip de bir şeylerin yolunda gitmediğini anladı. Evrenin derinliklerine bakıldığında, kırmızıya kayan süpernovalar, kırmızıya kaymanın öngördüğü uzaklıkta, olmaları gerektiği kadar parlak değildiler. Süpernovalar düşünülen-den daha da uzaktaydılar. Anlaşıldı ki bir şey, bilinmeyen bir enerji kaynağı, yavaşlaması gereken evrenin genişleme hızının artmasına sebep oluyordu. Evrene katkı yapan ikinci karanlık öge sahneye çıkmak üzereydi.

Kozmolojinin bilim haline geldiği gün (ya da değil)

2. Bölüm'de görmüş olduğumuz gibi, kozmolojinin, yani evreni bir bütün olarak inceleyen disiplinin geçmişinde, spekülasyon, bilimin diğer alanlarına oranla daha fazla yer tuttu. Kozmoloji, evrenin kökeninin tahmini modellerini ortaya koyan din ya da saf felsefe öğretileri olarak ortaya çıktı. Evren alevlerden ya da yumurtadan (gerçek ya da mecazi olarak) çıktıysa da, bunu deneysel ya da gözlemsel olarak ispat edecek bir veri yoktu. Böyle bir durumda, ilgilenilen şeyin gerçek bilimden ziyade spekülatif kurgu olduğu tartışılabilirdi.

Bununla birlikte, 9 Ocak 1998'de gerçekleşen bir basın toplantısında, SKP ve High-z ekiplerinin temsilcileri, yüksek radyo enerjili sinyaller gönderen uzak galaksilere ilişkin veriler üzerinde ve evrenin büyük ölçekli yapıları ve bunun kozmik mikrodalga arka plan ışımasıyla ilişkisi üzerinde çalışan başka iki grupla birlikte; inandıkları şeyin evrenin geleceğine ilişkin tahminleri, spekülasyondan gerçek bilim alanına götüren kesin veriler olduğunu ifade etti.

Her şeyi kenara koyup bunun kesin bir şekilde abartı olduğunu söylemek gerekiyor. Örneğin, büyük patlama modelinin gözlemle uyuşması için birkaç kez değiştirilmesi gerekiyordu. Prensip olarak, herhangi bir teoriye, bu şekilde, çalışma-

na kadar yama yapılabilir. Bu, Aristoteles'in evren modelinin, dış çemberler kavramıyla geliştirilmesine benzetilebilir. Yapılan bu geliştirme, mevcut modelin gözlemlenenle uyuşmasını sağlama amacı güttüğü için kaçınılmaz olarak çalışır. Fakat bu onu doğru yapmaz.

Nasıl ki karanlık maddenin varlığı, galaksilerin ve galaktik kümelerin garip kütleçekimsel davranışını şu an en iyi şekilde açıklayan teoriye, büyük patlama ve enflasyon da, evrenin genişlemesini şu an için en iyi şekilde açıklayan teoridir, fakat çok sayıda fizikçi, bu teorinin temelleri hakkında şüphe duymaktadır. Örneğin bazı fizikçiler enflasyonun iyi gerekçelendirilmediğini düşünmektedir. Evrenin tekillığe dayanan kökeni sonsuza giden değerler gerektirdiği için yaygın olarak teorinin çöküşünün bir göstergesi olarak kabul edilir.

Bununla birlikte Ocak 1998'deki duyuru, büyük patlama ve enflasyonun kombinasyonu doğru olmasa bile evrenin tarihinin nasıl geliştiğini gösteren resme bakışımızı; saf spekülasyondan, gözlemlerle güçlü bir uyuma sahip olan ve bilim gibi hissettiren bir spekülasyona dönüştürdü. Saul Perlmutter, bu etkinlikte, şu sözlerle konuyu açıklığa kavuşturdu: "İlk kez, gerçekten veriye sahip olacağız. Böylece, evrenin kozmolojisinin ne olduğunu anlamak için bir filozofa değil, deney uzmanına gideceğiz."*

Alınan veriler bize yalnızca evrenin genişlemesinin asla durmayacağını göstermiyordu. Görünen o ki aynı zamanda, fazladan bir şeyler (karanlık enerji), bu genişlemeyi ivmelen-diriyordu. İlginç şekilde, bu faktör, genel görelilik teorisinin kuramsal dünyasına, çok daha önceden, evrenin kararsız olduğu gerçeğine karşı koymak isteyen Einstein tarafından bir düzeltme faktörü olarak koyulmuştu. Bu faktör kozmolojik

* Eğer birisi Perlmutter'a, "evrenin kozmolojisi"nin totolojik olduğunu söylediyse de bu kaydedilmedi.

sabit olarak bilinir ve Yunan alfabesindeki büyük lamda (Λ) harfiyle ifade edilir.

Kozmolojik sabit

Sabitin anlamını anlamak için genel görelilik teorisine burnumuzu sokmamız gerekir. Görmüş olduğumuz gibi, bu teori Einstein'ın başyapıtıydı. 1915'e kadar geçen yıllarda bir araya getirilen bu teori; kütleçekimini, uzay-zamanın madde sebebiyle bükülmesi olarak tanımlıyordu. Genel göreliliğin alan denklemleri, nispeten daha anlaşılır bir ifadeye dönüştürülebilir:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = (8\pi G/c^4)T_{\mu\nu}$$

Denklemin solundaki kısım uzay-zaman eğriliğini, sağdaki kısım ise bu eğriliğe sebep olan kütle-enerji kısmını tanımlar (Denklemler, görüldüğünden çok daha karmaşıktır. Alt indise sahip olan her ifade, tensör adı verilen, çok boyutlu, söz konusu durumda on farklı denkleme karşılık gelen geometrik bir nesnedir). Başlangıçta Einstein, denklemleri lamda (Λ) kısmı olmadan formüle etti. Ancak sonradan, hata olarak ifade ettiği bu ifadeyi de hesaba kattı. 1917 yılında teorisini bir bütün olarak evrene uyguladı. Denklemleri, sonsuza dek genişleyecek ya da kütleçekimi etkisiyle çökecek bir evren öngörüyordu. Ancak Einstein, bu iki seçenekten hiçbirinin doğru olmadığına ikna olmuştu. Bu sabiti, kütleçekimi etkisine karşı koymak ve evreni durağan olarak ifade etmek için denklemine eklemişti.

Bu çok iyi sonuç vermedi. Denge durumundan en ufak bir kayma, evrenin çökmesine ya da genişlemesine yol açacaktı. Daha sonra Einstein, evrende gözlenen (ve nefes kesici enflasyon sonrasında kütleçekimi etkisiyle yavaşladığı düşünö-

len) genişleme bu kısma olan gereksinimi ortadan kaldıracacağı için, lamda'ya "en büyük hatası" diyecekti. Bu sebeple, uzun yıllar boyunca, lamda'nın sıfır olduğu varsayıldı. 1998'de yapılan bu duyuru ise, evrende olanları doğru bir şekilde ifade etmek için, kozmolojik sabitin, Einstein'ın tahmin ettiğinden daha büyük bir etkiye sahip olması gerektiğini gösteriyordu. Kozmolojik sabit, hızlanan bir genişleme sağlayacak kadar büyük olmalıydı. 1998 yılında ilan edilen değeri yaklaşık 10^{-52} m⁻² idi.*

Perlmutter, kozmolojinin bilim alanına geçişini gururla duyurmuş olsa da, kozmolojik sabitin bu değerinin, fizik için ya da en azından elimizdeki modellerin ardında yatan fizik için çok ciddi bir problem olduğu anlaşıldı. Bu problem 20 yılı aşkın süredir fizikçilerin kâbusudur. Bunu anlamak için, kuantum dünyasında kısa bir gezinti yapmamız lazım.

Kuantum boşluğu boş değil

Çok küçük olanın fiziği olan kuantum fiziğinin temel ilkelelerinden biri, Werner Heisenberg tarafından 1927'de ortaya konulan belirsizlik ilkesidir. Bu ilke, kuantum seviyesinde, bazı parametrelerin birbirlerine ayrılmaz şekilde bağlantılı olduğunu söyler. Bu parametreler arasında öyle bir bağ vardır ki, birini ayrıntılı olarak bilmemiz durumunda, diğer parametrenin değerinden gittikçe daha az emin oluruz. Bu çiftlerden en iyi bilineni, momentum (kütle çarpı hız) ile konum arasındakidir. Bir kuantum parçacığının momentumu hakkında ne kadar çok şey bilirsek, konumu hakkında o kadar az şey

* Eğer bir şey ilk saniyede 1 metre, ikinci saniyede 2 metre, üçüncü saniyede 3 metre şeklinde bir büyüme hızına sahipse, bunun ivmesi, 1 m/s²'dir. Kozmolojik sabitin ölçeği ise, 10.000 trilyon, trilyon, trilyon, trilyon, kat daha küçüktür.

biliriz (ve tam tersi). Ama tartışmasız şekilde, bu çiftlerden en dikkat çekici olanı, enerji ile zaman çiftidir.

Bu belirsizliğin ifade ettiği şey, eğer boş bir hacmi gözlemlersek ve bu gözlemi çok küçük bir zaman aralığı için yaparsak, söz konusu hacimdeki enerjinin, çok küçükten çok büyüğe kadar herhangi bir değer alabildiğidir. Bu miktar bazen o kadar büyük olur ki, madde oluşturmak için bile yeterli hale getir. Bu da demek olur ki, kuantum fiziği, boşluğun “sanal” parçacık adı verilen, biz onları gözlemleyene kadar oluşan ve yok olan kütlelerle kaynadığını söylemektedir.

Bu durumun, adını Hollandalı fizikçi Hendrik Casimir’den alan Casimir etkisinde gerçekleştiğine dair elimizde iyi kanıtlar var. Casimir, birbirine çok yakın yerleştirilmiş iki düz metal levha varsa, bu iki levhanın birbirine doğru çekileceğini öngördü ve deneyler de bunu defalarca gösterdi. Bu etkinin en büyük sebebi, levhaların dışında oluşan sanal parçacık sayısının, içeride oluşan sanal parçacık sayısından çok daha fazla olması ve bu parçacıkların, yok olmadan önce levha ile çarpışarak, levhalarda içeriye doğru bir itme oluşturmalarıdır.

Bu nedenle, boş uzayın, bazen vakum enerjisi olarak da adlandırılan bu değişken enerjiden arta kalan bir enerjiye sahip olduğu tahmin edilmekteydi. Bunun, şu an karanlık enerji dediğimiz kozmolojik sabiti yönlendiren enerji olması mantıklı görünüyordu. Ancak kuantum alan teorisi kullanılarak, kozmolojik sabitin değerinin, vakum enerjisi sebepli olması durumunda ne olacağı hesaplandığında, karşımıza 10^{68} m^{-2} sonucu çıkar. Bu da demek olur ki, teorik değer, gözlemlenenen tam 10^{120} kat daha büyüktür. Bu, bilimde teori ile uygulama arasında şimdiye kadar karşılaşılan en büyük farktır. Bu sonuç *o kadar* yanıltıcı ki, bir yerlerde çok büyük bir yanlış varsayım olduğu açıktır ve biz bu yanlış varsayımın nerede olduğunu bilmiyoruz.

Evrenin geleceğini keşfetmek

Veriler toplanmaya başladıkça, başlangıçta lamdanın sıfır olması mantıklı gözüküyordu. Bununla birlikte, 1995 ve 1997 yılları arasında yapılan erken ölçümlerdeki büyük belirsizliği de aklımızda tutmalıyız. Kozmik toz ve ölçümdeki kısıtlamalar gibi etkenler sebebiyle, kabul edilen durum verilere uyuyor olsa bile, geniş bir yelpazedeki diğer ihtimaller de benzer şekilde verilere uyuyor olabilir. Ama bir dizi filtre kullanarak kozmik tozun kızartıcı etkisini ayırmak gibi yeni teknikler kullanılmaya başlandı. Ve zamanın derinliklerindeki süpernovaların gözlemlenmesinden daha fazla veri gelmeye devam ettikçe, yapılan ilk varsayımlar yanlış gibi görünüyordu.

Hubble Uzay Teleskobu'ndan gelen daha kesin veriler de hesaba katılınca, dağılımda değişiklikler olmaya başladı. Süpernovalar, sahip oldukları kırmızıya kayma seviyesi için beklenenden daha sönük görünüyordu. Ancak henüz, nispeten çok az veri vardı. Berkeley ekibi çelişkili bilgiler yayınlamak konusunda isteksizdi ancak sonunda bunu yaptılar çünkü yaklaşımları farklıydı. Hubble'ı kullanıyorlardı. Eki bin elde ettiği yeni veriler (bol bol "eğer" ve "ama" ile) Ekim 1997'de, *Nature* dergisinde yayımlandı. Aynı ay, High-z ekibi de, Hubble'dan elde ettiği kendi sonuçlarını paylaştı. Onlar da, kozmolojik sabitin olmadığı düşüncesiyle ve olup biteni açıklamak için tam olarak yeterli miktarda kütleyle sahip olan geleneksel evren fikriyle çelişiyordu.

Ekibin, 1997'nin sonlarında çektiği işkence açıkça gösteriyordu ki, iddialara rağmen kozmoloji hâlâ gerçek bir bilim olmaktan uzaktı. İşin içinde olanların çoğu, orada kozmolojik sabit olmasını istemiyordu ve bununla başa çıkmanın yollarını arıyorlardı. Bu, High-z ekibinin üyeleri arasında yaşanan, Hubble Uzay Teleskobu sonuçlarının yayımlanıp yayımlan-

maması hakkındaki e-posta alışverişinde açıkça görülüyordu. Bir noktada, Brian Schmidt, yayımlamayı savunurken şunları söylüyordu: “Kozmolojik sabit beni rahatsız ediyor, ama yanlış olmalarına bir sebep bulana kadar sonuçlarımızı kendimize saklamamız gerektiğine de inanmıyorum (bu da bilim yapmak için doğru bir yol değil).”

Şubat 1998’e geldiğimizde, konu ciddileşiyordu. Her iki ekip de Los Angeles’taki Kaliforniya Üniversitesi’nde bir konferansa katılıyordu (ne ironiktir ki, karanlık maddeye odaklanan bir toplantıydı bu). High-z ekibinin daha muhafazakâr üyeleri, hâlâ önemli sonuçlara varmama eğilimindeydi. Hubble’ın kırmızıya kaymaya ilişkin ilk verileri topladıktan sonra yaptığı gibi, sadece verileri sunmak ve sonuçları başkalarının çıkarmasına izin vermek istiyorlardı. Yine de basın, SKP ekibinin daha etkileyici görünen süpernova koleksiyonuna ilgi gösteriyordu. High-z grubundaki bazı kişiler, Berkeley’li rakiplerinin, evrenin genişlemesini hızlandıran kozmolojik sabitin varlığını açıklayacağına ikna olmuştu. High-z, konferanstan birkaç hafta sonra konuyla ilgili bir yayın yapacaktı. Ancak, şu anki toplantının da kaçırılmayacak kadar iyi bir fırsat olduğunu hissediyorlardı.

Saul Perlmutter’ın, SKP verilerini paylaştığı ve kozmolojik sabitin varlığına dair kanıtlar olduğunu söylemekle yetindiği oturum sonrasında, High-z ekibi sözcüsü Alex Filippenko, ani bir atılımla, verilerinin, kozmolojik sabitin gerçek olduğunu gösterdiğini duyurdu.

Bu duyuruya verilen tepkiler karışık. Hesaplanan değer kuantum teorisinin öngörüsünden 10^{120} kat büyük olsa da (bkz. s. 125) çok sayıda astrofizikçinin kozmolojik sabitin varlığını kabullenmesi şaşırtıcıydı. Bunun nedenlerinden biri, genişlemeye sebep olan enerjinin varlığının, mevcut büyük patlama modelinin en varsayımsal yönünü desteklemesi gibi görünüyordu: Evrenin birinci saniyenin ilk kısmında çok hız-

lı bir şekilde genişlediği fikri. Sunulan bu veriler, evrenin en az 15 milyar yaşında (daha sonra 13,8 milyar yıl olarak düzeltil-di) olması gerektiğini söylüyordu ve bu da astronomların gözlemlediği büyük ölçekli yapıların oluşması için gerekli zamanı onlara veriyordu.

Ancak diğerleri, alternatif bir açıklama olması gerektiğini düşünüyordu. Veriler hakkında şüpheleri yoktu çünkü veriler farklı yaklaşımlar kullanan ve birbirine karşı koymaya çalışan iki farklı ekipten geliyordu. Yine de, tüm veriler yoruma tabidir. Kozmoloji verilerinin dolaylı doğası ise, bu yorumu yanıltıcı sonuçlara açık hale getirmiştir. Kaçınılmaz olarak, büyük varsayımlar yapılmıştı. Bu varsayımların test edilmesi imkânsız olmasa bile zordu. Çoğu tutarlılık hakkındaydı.

Evren tutarlı mıdır?

Bu gözlemlerin dayandığı en önemli temellerden birinin, tip Ia süpernovalarını standart mum olarak kullanmak olduğunu hatırlayalım. Süpernova araştırmalarında çıkan ilk krizler gösterdi ki, tip Ia süpernovaları, örneğin parlaklığı doğrudan doğruya döngülerinin periyoduna bağlı olan, değişen yıldızlarla benzer anlamda standart mumlar değildi. Ancak süpernovalar, mesafelerine ilişkin ölçümlerin kalibrasyonunda, değişen parlaklıklarının oluşturduğu eğriler kullanılarak “evcilleştirildiler.”

Bu kalibrasyon, diğer standart mum türlerini kullanarak mesafelerini doğrulamanın mümkün olduğu nispeten daha yakın süpernovaların gözlemlenmesine dayanıyordu. Ancak kozmolojik sabit sonuçlarını elde etmek için aynı kalibrasyon yönteminin çok uzak galaksilerdeki süpernovalarda da kullanılabileceği varsayılmıştı. Unutmayın ki, uzayda ne kadar uzağa bakarsanız, zamanda o kadar geriye bakmış olursunuz, çünkü ışığın bize ulaşması zaman alır. Uzaktaki galak-

silerin milyarlarca yıl önceki halleri gözlemleniyordu. Ancak ya bir etken zamanla değişiyorsa ve bu, çok eski süpernovalar için oluşturulan eğriler ile yeni süpernovaların eğrisinde bir farka sebep oluyorsa? Bu durum, galaksilerin ne kadar uzakta olduğuna dair varsayımların tamamen yanlış olmasına yol açardı.

Benzer şekilde, kozmik tozun gözlemler üzerindeki etkisi hakkında da tutarlılık varsayımları yapılmıştı. Tozun etkisinin daha iyi anlaşılması (kaçınılmaz olarak süpernovanın gerçekte olduğundan daha sönük görünmesine sebep olacaktır); High-z grubunun, SKP fizikçilerinin sahip olduğu etkileyici başarıyı yakalayabilmesinin sebeplerinden birisiydi. Toz, zor bir iştir. Başka deney grupları da tozun etkilerini keşfettiğinden, bu zorluk bugün de böyle devam etmektedir.

2014 yılında, Güney Kutbu'nda gerçekleştirilen BICEP2 (BICEP, Ekstragalaktik Kozmik Polarizasyonun Arka Plan Görüntülemesi anlamına gelen Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarisation'ın kısaltmasıdır) adlı deney, evrenin çok erken anlarından gelen kütleçekimi dalgalarının varlığına kanıt gösteren veriler ürettiğini bildirdi. Daha önce söz etmiştik; astronomların evrenin yaklaşık 370.000 yaşından daha öncesini gözlemleyemiyor olmak gibi ciddi bir problemi vardı. Bunun sebebi, astronomide kullanılan ışığın radyo dalgalarından gama ışınlarına kadar farklı hallerinden hiçbirinin evrenin bu yaştan önceki halinde yayılmasının mümkün olmayışıdır. Bununla birlikte, bilinen hiçbir şey, kütleçekimi dalgalarını etkileyemez.

Enflasyon gerçekten de evren ortaya çıktıktan kısa süre sonra gerçekleşmişse, uzay-zamanın bu şiddetli genişlemesi evrende hâlâ dolaşacak olan ilkel kütleçekimi dalgaları oluşturmalıydı. Bu, BICEP2'nin keşfettiğini rapor ettiği enflasyonun varlığını destekleyen nadir bir kanıttı. Ancak aylar içinde, sonuçlar hakkında şüpheler ortaya atıldı. Şimdi ise bu

sinyalin kozmik tozdan geldiği kabul edilmektedir.* Tozun etkisi uygun şekilde dikkate alındığında, geriye hiçbir şey kalmıyordu.

Kozmolojik sabite ilişkin bulgular söz konusu olduğunda, tozun etkisini ortadan kaldırmak için, sebep olduğu kırmızımsı spektrumu ayırt etmek ve verilerden çıkarmak gerekiyordu. Süpernova gözlemlerinde olduğu gibi; çalışılması çok daha kolay olan nispeten yakındaki kozmik tozun etkisinin, evrenin geçmişini gösteren çok uzaktaki toz da dahil olmak üzere uzayın her yerinde aynı olduğu varsayılıyordu. Peki ya oluşan ilk galaksiler arasında, gri toz adı verilen farklı optik etkiye sahip bir toz varsa? Bu, uzak galaksilerdeki süpernovalardan gelen beklenmedik ölçüde loş ışığı açıklayabilirdi ve karanlık enerji kavramını ortadan kaldırabilirdi.

Tarihöncesi evren

1998 tarihli basın toplantısı yapıldığı sıralarda elde olan verilere bakıldığında, verileri bozabilecek olası etkenleri ortadan kaldırmanın bir yolu yoktu. Yine de teori, beklenmedik sönüklüğe neyin sebep olduğunu görmenin bir yolu olduğunu öne sürüyordu. O dönemlerde çalışılan en uzak galaksilerin yaklaşık 5 milyar yıl önceki halleri görülüyordu. Ancak kırmızıya kayma miktarı çok daha yüksek olan (bu nedenle çok

* BICEP2 deneyi, kozmik mikrodalga arka plan ışımasında polarizasyon arıyordu (polarizasyon, yani kutuplaşma; ışığın, hareket yönüne dik açılarda, olası yönlerin sadece bazılarında titreşmesidir). Umutlanılan şey, bu polarizasyonun, evrenin başlangıcından gelen kütleçekimi dalgaları tarafından oluşturulmasıydı. Fakat, ışık bir cisimden yansıdığına, çoğunlukla polarize hale gelir (bu, polarize güneş gözlüklerinin yansıyan parıltıları azaltmasının sebebidir). Ve söz konusu ışıma, kozmik toz tarafından saçılırsa (toz parçacıklarından yansıma yoluyla), polarize olması oldukça muhtemeldir. Ölçülen polarizasyonun, tozdan saçılması beklenen miktarla aynı olduğu ispatlanmıştır.

daha geçmişteki halleri görünen) cisimleri görmek mümkün olsaydı, bir şeylerin farklı olacağı düşünülüyordu. Erken dönemlerindeki evren çok küçüktü. Bu da, madde yoğunluğunun çok yüksek olması demekti. Yani, yüksek kütleçekimsel etkileşim, karanlık enerjinin genişletici baskısını yeniyor olmalıydı.

Bu o zamanlar, evrenin genişlemesinin yavaşlaması gerektiği anlamına gelecekti. Bu dönem, evrenin içeriğinin; karanlık enerjinin baskın gelmesine ve ivmelenmenin başlamasına sebep olacak kadar incelmesinden hemen sonrasıydı. Eğer yeteri kadar uzaktaki galaksilerde bulunan süpernovalar gözlemlenebilseydi; bu, gözlemleri açıklamak için karanlık enerji ve diğer nedenleri ayırt etmenin bir yolunu sağlamalıydı.

Neyse ki Hubble Uzay Teleskobu zaten gerekli gözlemleri sağlayabilen görüntüler üretmek için Hubble Derin Alan olarak bilinen çalışmayla kullanılmaya başlanmıştı. Bu çalışma, 1995 yılında, gökyüzündeki çok küçük bir alanda (100 metre uzaktan tenis topuna bakıldığında görülen alanla aynı büyüklükte) yapılan gözlemlerden oluşmaktaydı. 1997’de, aynı yıldızlarla bir karşılaştırma yapıldı ve çok uzakta bulunan bir çift süpernova tespit edildi. Ancak bu verilere hareket miktarını ve mesafeyi saptamak için kullanılan spektral eğri ve ışık eğrisi analizleri eşlik etmemekteydi. Yine de 2001’de, Derin Alan verilerinin önemli derecede değerli olduğu kanıtlanmıştı.

Atılım, süpernovaların ışık eğrisi analizini gerçekleştiren High-z ekibinin eski üyesi, karanlık enerji çalışmalarından dolayı Saul Perlmutter ve Brian Schmidt ile 2011 Nobel Fizik Ödülü’nü paylaşacak olan Adam Riess’in fikriydi. Riess, Hubble Derin Alan’daki iki süpernovanın farkındaydı ve 2001 yılında çok zor bir iş üzerine biraz zaman harcamaya karar verdi. Başarılı olması pek olası değildi. Fakat eğer başarılı olursa, mükafatı dikkat çekici olacaktı.

1997’de kimse, bahsedilen iki süpernovaya ilişkin gerekli ölçümleri özel olarak yapmamıştı. Peki ya o zamanlar başka bir çalışmanın parçası olarak bu verileri toplayan biri olsaydı? Bunun için epey şanslı olmak gerek ama bu gerçekten de olmuş olabilir. Tesadüfen 1997’de, Hubble teleskobuna spektrometre de bulunduran yeni bir ekipman eklendi. Eklenen bu yeni teknoloji tam zamanında test ediliyordu. Bu ekipman; rastlantı eseri 1997 yılı Derin Alan verilerindeki, son derece uzak süpernovalardan birini yakalamıştı. Riess, zamanın 10 milyar yıl öncesine götüren gözlemdeki kırmızıya kaymayı analiz etmeyi başardı. Teoriye göre, karanlık enerji evrenin bu erken döneminde baskın hale gelmeye daha yeni başlamıştı. Yine de bu süpernova, alternatif etkenlerden (değişen ışık eğrileri ve farklı kozmik toz) herhangi birinin doğru olması durumunda bile, olması gerekenden iki kat daha parlaktı.

Bu kitap yazıldığı zamanda tanımlanan en uzak tip Ia süpernova, Hubble’ın CANDLES Ultra Derin Araştırması’nda keşfedilen SN UDS10Wil’dir. 10,5 milyar yıl öncesinden görüntü getiren bu süpernova, önceki bulguları da desteklemektedir. Görünen o ki karanlık enerjinin bizi bırakıp gitmek gibi bir niyeti yok.

Kozmolojik sabit mi yoksa töz mü?

Ne ilginçtir ki, tutarlılık meselesi karanlık enerji araştırmalarının başına farklı bir şekilde bela olmaya devam edecekti. Kozmolojik sabite bir değer bulmak için, karanlık enerjinin her zaman aynı ölçekte olduğu ve evrenin her yerinde aynı olduğu varsayılıyordu. Karanlık enerji çalışan bilim insanlarının karanlık madde çalışanlara göre bu konuda daha açık olmaları ilginçtir. Çoğu fizikçi, kütleçekiminin tutarlılığını kabul etmişti ve bu fizikçiler Modifiye Newton Dinamiği yaklaşımından mutlu değildi. Dahası, belki de kozmolojik sabi-

tin varlığına dair ilk tepkilerden dolayı bu fizikçiler karanlık enerjiyi bir sabit olarak değil bir alan olarak, yani uzay-zamandaki konumdan konuma değişen bir değer olarak ele almakta bir sorun görmüyordu.

Teorisyenler, bu varsayımsal kozmolojik alana, şirin bir isim bile verdiler: töz. Bu şirin ismin geçmişi, eski Yunanlara kadar gitmekteydi. Gördüğümüz gibi, bin beş yüz yılı aşkın bir süre, Dünya'daki tüm maddelerin dört elementten oluştuğu kabul edildi: Toprak, su, hava ve ateş. Ancak bu, yalnızca Ay'ın yörüngesinin altında kalan evren için geçerliydi. Ay'ın ötesine çıktığımızda, her şey beşinci bir diğer elementten, yani "töz" den oluşmaktaydı.

Bununla beraber; bu terimin* kullanılmasından sorumlu olan kişinin, kelimenin ardındaki tarihi bilip bilmediği tartışma konusudur. Eski Yunanlar, yeryüzündeki maddelerin, zamana ve mekana göre değiştiğinin farkındaydı. Bu, Ay'ın ötesinde bulunan hiçbir şeyin, bahsedilen standart elementlerden oluşamamasının nedeniydi. Göklerin değişmez olduğu düşünülüyordu. Töz'ün ardındaki fikir de, onun asla değişmediğiydi. Ne ironiktir ki, eğer varsa, modern kozmolojik töz, *değişen* bir şey olarak tanımlanmıştı. Zaten böyle tanımlanmasaydı, kozmolojik sabit olacaktı.

Riess'in çığır açan duyurusundan bu yana, evrenin genişlemesinin ve dolayısıyla karanlık enerjinin doğasının zamana göre değişimini daha iyi kavramak adına farklı gözlemler ve ölçümler yapıldı. Çok daha fazla süpernova gözlemiyle beraber, astronomlar galaksi kümelerinin kütleçekimsel mercek etkisini de (bkz. s. 13) kullanarak, evrenin genişlemesinin etkisi hakkında bir fikir edinmeye çalıştılar. Evrenin erken döneminden, dalgalar yansıtabilecek olan büyük yapılar ko-

* Terim, ilk kez Robert Caldwell, Rahul Dave ve Paul Steinhardt tarafından 1998'de yayımlanan bir makalede ortaya çıktı.

valayan astronomlar, galaksi kümelerinin yanından geçerken enerjisi artmış olan fotonlara sahip kozmik mikrodalga arka plan ışıması aradılar. Bunların hepsi, sinir bozucu şekilde dolaylı yöntemlerdi.

Bugüne kadarki verilerin çoğu, değişken tözden ziyade, kozmolojik sabitin varlığına işaret etmektedir. Örneğin 2016 yılında, NASA'nın Chandra X-Işını gözleminden ve Hubble Uzay Teleskobu'ndan alınan veriler, zamanda 760 milyon yıl ile 8,7 milyar yıl arasında geriye götüren galaksi kümelerini incelemek için kullanıldı. Çalışma, bu aralıkta karanlık enerjinin ölçeğinin değişmediğini gösterdi (tabii, evrenin genişlemesi nedeniyle kütleçekimi etkisi azaldığından, karanlık enerji bu zaman aralığında baskın hale geldi).

Kozmik mikrodalga arka plan ışımasının bize gösterdiği daha önemli bir şey var. Evrenin, geometrik anlamda oldukça düz olduğu. Teorik olarak uzay kendi üzerine kapanabilir, ya da bir eyere benzeyecek şekilde dışa doğru bükülebilir. Pratikte ise, arka plan ışımasının nispeten homojen olmasının da desteklediği üzere, tüm kanıtlar evrenin düz olduğunu göstermektedir. Uydulardan alınan verilerin grafiğine baktığımızda, kozmik mikrodalga arka plan ışıması ciddi şekilde değişiyor-muş gibi gözükür. Fakat bu, verilerin sunulma biçiminin bir sonucudur. Grafiğin en karanlık ile en parlak kısmı arasında, oldukça küçük bir miktarda değişim söz konusudur.

Arka plan ışımasındaki değişimin dağılımının özellikle açışal güç spektrumu diye bilinen bir ölçüm ile incelenmesi, hem düzlüğü hem de erken evrenin içeriğinin yaklaşık yüzde 95'inin elektromanyetik olarak etkileşime girmediğini vurgulamaktadır. Evrenin uzay zaman yapısının düz olması karanlık enerjiyi keşfetmek için kullanılan uzak süpernovaların dağılımıyla da bize kendini gösterir. Evrenin ortalama madde yoğunluğu hakkında bilgi veren, genel göreliliğe dayalı teorik modeller düz bir evrene işaret etmeliydi. Tahmin edilen

normal ve karanlık madde miktarının verdiği yoğunluk; evrenin düz bir yapıda olması için gerekenin çok altındadır. Ancak karanlık enerjiyi de hesaba katarsak, sonuç neredeyse tam olarak düz bir yapıya karşılık gelir.

Gerçek şu ki, karanlık enerjinin gerçekte ne olduğu hakkında çarpıcı bir teorimiz yok. "Karanlık enerji" sadece bir isim. Bu da demek oluyor ki, "pofuduk tavşancık" demekten fazla bir farkı yok. Tabii bu evrenin genişlemesinin ivmelenmesine neyin sebep olduğu hakkında teoriler olmadığı anlamına gelmiyor. 2007 yılındaki bir konferansta yapılan konuşmada, Brian Schmidt; "radyon" ve "dilaton" gibi marka benzeri isimlere sahip olanlardan, "skaler+spinör" ve "adyabatik madde oluşumu" gibi kulağa teknik gelenlere, hatta "Pseudo-Nambu-Goldstone Bozon Özü" ve "k-bukalemun" gibi kulağa düpedüz tuhaf gelenlere kadar, yaklaşık 50 farklı teori listeledi.

Karanlık enerjinin doğası hakkında daha fazla bilgi edinmek adına farklı yollar önerilmektedir. Süpernova ölçümleri favori yöntem olmaya devam etmektedir ve çok uzaktaki nesnelerin sebep olduğu kütleçekimsel mercekle etkisi de yöntemlerden birisidir. Nispeten yeni bir seçenek ise, baryon akustik salınımlarının incelenmesidir.

Şimdi kozmik mikrodalga arka plan ışıması olarak bilinen ışıma, yüksek enerjili gama ışını olarak ortaya çıktığında, evrende o dönem yaygın olarak bulunan elektrik yüklü plazma, bir dizi fiziksel titreşime başladı. Bunlar madde titreşimi olduğu için, ses dalgalarına ya da diğer bir deyişle akustik salınımına benziyorlardı. Maddeler arasında yayılan bu dalgaların, galaksileri oluşturacak şekilde madde dağılımını etkilemesi muhtemeldir. Öneri, bu dalgaların tercihen yaklaşık 490 milyon ışık yılı boşluklarla galaksileri oluşturduğudur.

Prensipte, bu bize evrenin erken zamanlarına ulaşabilmeniz için yeni bir tür standart mum verir. Eğer yeni oluşmuş

iki galaksinin birbirinden bu uzaklıkta olduğunu biliyorsanız, Dünya'ya göre açısal uzaklıklarının verilmesi durumunda, bu iki galaksinin bizden ne kadar uzakta olduğunu bulabilirsiniz. Standart mumlara dayalı tüm yaklaşımlarda olduğu gibi, burada da bir belirsizlik unsuru vardır. Yine de, karanlık enerjinin etkisini ve nedenlerini araştırmak için yöntem arayışının nasıl devam ettiğini göstermektedir.

Sanal karanlık

Karanlık madde gibi karanlık enerjinin de, varsayımların yol açtığı bir hata olma ihtimali vardır. Kozmolojik modeller için temel varsayımlardan biri, evrenin her yönde aşağı yukarı aynı olduğu ve konumumuzla ilgili özel bir şey olmadığıdır. Bununla birlikte galaksimizin, evrenin tipik bir bölümünde değil de genel duruma kıyasla daha az madde içeren bir kısmında olması da mümkündür. Bu durum, diğer bölgeler hakkında yanıltıcı bir resim verebilir. Belki de sadece, olup bitenin net bir resmini elde etmek için henüz yeterli veriye sahip değilizdir. Şimdiye kadar yüzlerce süpernova gözlemlenmiş olsak bile; bu süpernovalar, tüm evren hakkında küçük bir örnek sağlamaktadır.

Yine de, karanlık enerjinin gerçekliğinden şüphe eden az sayıda kozmolog ve astrofizikçi vardır. Karanlık maddenin aksine, şu anda kabul edilen teori haricinde, gözlemlenen şeylerin bazı yönlerini açıklayan iyi bir alternatif teori yoktur. Yapılan varsayımlarla ilgili sorular devam etse de; bu sorular, alternatif teorilerin üretilmesine yardımcı olmamaktadır.

Araştırma devam ediyor

Mevcut karanlık madde dedektörleri bugüne kadar başarısız olmuş olsa da hâlâ kullanılmaya devam edilmektedir. Bu dedektörlerin kullanımı, bazı seçeneklerin üzerini çizmemiz için bir dizi olasılığın oluşmasını sağlayabilir.

Daha yüksek hassasiyete sahip olan ve (umamız) karanlık maddeyi sahte okumalardan ayırt edebilecek yeni nesil doğrudan dedektörler inşa ediliyor. Çindeki PandaX dedektörü (bkz. s. 66), çok daha büyük bir ksenon alıcı ile geliştiriliyor. “PandaX-xt”nin, 2020’de kullanıma alınması bekleniyor. Benzer şekilde, 2013-2016 yılları arasında aktif olan Güney Dakota, Lead’deki; ksenon tabanlı (hiçbir şey bulamayan) Amerikan LUX dedektörü, LUX-ZEPLIN olarak geliştiriliyor. Yeni PandaX tasarımının iki katından daha fazla ksenon ile geliştirilen LUX-ZEPLIN’in de 2020’de hazır olması bekleniyor.

Bunlarla birlikte, doğrudan olmayan gözlemler de hızlandırılıyor. Şili, Cerro Pachón’da yapım aşamasında olan ve ABD tarafından finanse edilen Büyük Sinoptik Araştırma teleskobunun, 2019’da ilk ışığı görmesi, bilimsel araştırmaların ise 2022’de başlaması bekleniyor. 8,4 metrelik (330 inç) açıklığa sahip olan bu canavar, gökyüzündeki geniş alanların ayrıntılı görüntülerini yakalamak için tüm taramayı 3 günde tamamlayacak şekilde tasarlandı. Bunu on yıl boyunca defa-

larca tekrar edecek. Taramalar arasındaki karşılaştırmaların, karanlık maddenin (ya da modifiye kütleçekiminin) evreni nasıl etkilediğini anlama konusunda daha iyi bir resim ortaya koyacağı umulmaktadır.

Karanlık madde hakkında daha fazla bilgi edinmemizi sağlayacak belki de en şaşırtıcı ihtimal, 21. yüzyılın tartışmasız en heyecan verici bilimsel gelişimi olan kütleçekim dalgalarının keşfinden gelecektir. Görmüş olduğumuz gibi (bkz. s. 55) daha belli belirsiz karanlık madde adaylarını kütleçekim dalgalarıyla tespit etmek için bazı seçenekler mevcuttur. İlkel kara delikler, popüler bir seçim olmasalar bile, tamamen elenmiş değildirler ve karanlık madde etkilerine kısmen katkı yapan unsurlar olarak görülmektedirler.

Hanford, Washington ve Livingston, Louisiana merkezli LIGO kütleçekim dalgası gözlemevi 2019'da, mevcut yapılandırmayla üçüncü veri çalışmasına başladı. Gözlemevi, çalışma sonrasında geliştirilecek. Benzer şekilde dünya genelinde başka kütleçekim dalgası gözlemevleri de inşa ediliyor ve geliştiriliyor. Yeni kütleçekim dalgası verilerinin sürekli akışını bekleyebiliriz. Teorik olarak bu gözlemevleri, Güneş'ten daha küçük kara deliklerin birleşmesini tespit edebiliyor. Bu küçük kara delikler normal şekilde oluşamaz ve neredeyse kesin olarak, ilkel kara deliklerdendirler. Tabii bu, onların tespit edileceği anlamına gelmez. Lakin onları bulmak veya belki bir olasılık olarak ortadan kaldırmak için hâlâ bir potansiyel söz konusudur.

Bu arada karanlık madde tespiti için başka alternatif yaklaşımlar da geliştirilmektedir. 2019 yılında Surrey Üniversitesi, Carnegie Mellon Üniversitesi ve Zürih Federal Teknoloji Enstitüsü (ETH Zürih) tarafından yayınlanan bir çalışmada, Samanyolu galaksisi gibi daha büyük galaksilerin yörüngesinde dönen cüce galaksilerin, karanlık maddenin davranışı hakkında bize bir şeyler söyleyebileceği öne sürüldü.

Çalışma, özellikle bu cüce galaksilerdeki yıldız oluşumlarını inceledi. Yıldızların oluşum süreci, gazı ve tozu merkezden

dışarıya götüren kuvvetli rüzgârlara neden olabilir. Rüzgâr ve ısıdan doğrudan etkilenmese de, merkezde biriken karanlık madde, hareket eden büyük miktardaki normal maddenin kütleçekimi etkisiyle çekilecektir. Karanlık madde ısınması (harika bir isim değil) denen bu etki, cüce galaksilerin merkezinde daha az karanlık madde bulunmasına neden olacaktır. Ekip on altı farklı cüce galaksi gözlemledi ve yıldız oluşumu durmuş olanların merkezinde, teoriyi destekler şekilde, daha fazla karanlık madde olduğunu keşfetti. Bu yeni bir davranış olduğundan, daha iyi ölçümler yapıldığında, bazı karanlık madde teorileri arasında ayırım yapmak için kullanılabilir.

Hibe arayan fizikçilere dikkat

Bu kitabın yazımı sırasında, Cenevre yakınlarındaki CERN laboratuvarında çalışan bilim insanları şu anki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'ndan (BHÇ) çok daha büyük, yeni nesil bir çarpıştırıcı ihtimali hakkında konuşuyordu. 100 kilometre uzunluğundaki ve BHÇ'den neredeyse dört kat büyük olan Geleceğin Dairesel Çarpıştırıcısı için verilen teklif, 20 milyar £'luk göz yaşartacak bir fiyat etiketine sahip ve yeni bir şey bulma garantisi de yok. Fakat böyle bir projeyi meşru kılmak için, bu işe girişen bilim insanlarının heyecan verici sonuçlar bulması gereklidir. Bu heyecan verici sonuçlardan biri ise karanlık maddeye bozunma sürecinde Higgs bozonunun tespit edilebilmesidir.

Bu, kulağa garip gelen öneri, Higgs-portal modelleri olarak bilinen şeye dayanmaktadır. Bu modeller karanlık madde ile normal maddenin, Higgs bozonu değiş tokuşu sayesinde (normal madde parçacıklarının, foton değiş tokuşu içeren elektromanyetik etkileşiminde olduğu gibi) etkileşime girmesi gerektiğini öngörmektedir. Eğer durum gerçekten buysa, bir çarpıştırıcıda üretilen Higgs parçacıklarının, bazen karanlık maddeye bozunması beklenir. Bozunma sonucu ortaya

çıkan ürün görünmez olacağından, bu belirgin bir sonuç doğuracaktır.

Bu süreç, Büyük Hadron Çarpıştırıcı'sında üretilen Higgs parçacıklarında hiç görülmedi. Bu da teorisyenlerin, karanlık madde adayı bazı parçacıkları elemesi anlamına geliyor. Öyleyse, Geleceğin Dairesel Çarpıştırıcısı için gerekçe, bu süreci gözlemleyebilmesi ya da daha fazla karanlık madde adayını elemesi olacaktır. Ama burada bir sorun var.

Tüm süreç, henüz kanıtlanamamış bir hipoteze dayanmaktadır. Higgs bozonunun, karanlık madde ile normal madde arasındaki etkileşimlere dahil olduğunu varsaymak için hiçbir nedenimiz yok. Eğer öne sürülen bu hipotez doğru değilse, Higgs bozonunun bu bozunumunun olmaması, karanlık madde parçacıklarının doğası hakkında hiçbir şey söyleyemez. Yani çok fazla para harcayarak, başladığımız yere geri dönmüş oluruz.

Görünen o ki, buradan çıkarılacak ders, böyle iddialara ağırlık verirken temkinli olmak ve dikkatli incelemeler yapmak gerektiğidir.

Karanlık maddeyi bir gün bulacak mıyız?

Kütleçekimi etkilerinin sağladığı dolaylı ipuçlarından ziyade, karanlık maddenin varlığına doğrudan kanıt bulmak için çok fazla çaba sarf edilmiştir. Araştırmalar şimdiye kadar somut bir şey ortaya koymadı. Vera Rubin 1980'de karanlık madde parçacıklarının on yıl içerisinde doğrudan gözlemleneceğini tahmin etmişti. Lakin 2001 yılında hüznünlü şekilde ifade ettiği gibi karanlık madde hâlâ gözlemlenememişti. Yine, 2000 yılında, İngiliz Kraliyet Astronomu Martin Rees, benzer bir on yıllık tahmin yaptı. Onun tahmininin süresi de çoktan geçti.

Kariyerinin sonlarına doğru yazılan bir kitapta, çizgi dışı astrofizikçi Fred Hoyle; tereddüt etmeden, bilim insanlarının bir fikre bağlandıklarında yeni kanıtlara bakmadan o fikri ta-

kip ettiklerini öne sürdü ve onları bir kaz sürüsünün fotoğrafini kullanarak tasvir etti. Kuşkusuz Hoyle, 1948'de Hermann Bondi ve Thomas Gold ile geliştirdiği süredurum teorisinin, 1960'larda büyük patlama teorisi tarafından gasp edilmesine öfkeliydi. Fakat Hoyle bile büyük patlama teorisinin, kozmik mikrodalga arka plan ışımasından ve çok uzaktaki galaksilerin ışığının bize ulaşma süresinden dolayı gelişimlerinin erken evresinde görünmesinden gelen kanıtları, süredurum modelinden daha iyi açıkladığını kabul etmek zorunda kalacaktı. Ama Hoyle'un haklı olduğu bir konu vardı.

Büyük patlama teorisi de birkaç kez gözlemlerle örtüşmemişti ve çeşitli değişikliklerle yamalar yapılmıştı. Hoyle'un fikri, süredurum teorisinin de, gözlemlerle uyuşacak şekilde geliştirilebileceğiydi. Ancak söz konusu bu olasılık fark edildiğinde kozmoloji topluluğu, büyük patlama konusunda kaz sürüsü moduna girmişti ve bu olasılıkla ilgilenmiyordu. Bu, Thomas Kuhn'un kusurlu ama son derece etkili olan *Bilimsel Devrimlerin Yapısı* (1962) isimli kitabında açıklanan durumdan farklı değildi.

Kuhn, bilimin ilerlemesini paradigma kayması (bu, onun icat etmediği ancak popülerleştirdiği bir terimdir) olarak bilenen, perspektifin ara sıra tümüyle değişmesi süreci olarak tanımlamaktadır. Bu ilerlemeler, kabul gören bakış açılarının olduğu zaman aralıklarında gerçekleşir. Kuhn, paradigma kaymasından hemen önceki dönemde, mevcut durumu (statüko) savunulamaz hale getiren çok fazla kanıt ortaya konacağını fakat bu statükoya çok fazla emek harcadıkları için o dönemin bilim insanlarının paradigma kayması söz konusu oluncaya kadar bu fikri destekleyeceğini öne sürdü.

Karanlık madde ve modifiye kütleçekimi arasındaki tartışmalara karşı tutum, Kuhn'un bahsettiği ara şamada gibi gözükmektedir. Case Western Üniversitesi astrofizik profesörü Stacy McGaugh, "Triton Station" isimli blogunda, "karanlık madde mi modifiye kütleçekimi mi" tartışmasının nasıl ta-

nımlandığı konusunun sosyolojik bir mesele olduğuna dikkat çekiyor. McGaugh, Gianfranco Bertone ve Tim Tait tarafından yazılan “Karanlık Madde Arayışında Yeni Bir Dönem” adlı makaleden alıntılar yapıyor: “Teorilerin (modifiye kütleçekimi) gözlemlerle uyumlu hale getirilebilmesinin tek yolu; etkili ve çok hassas bir şekilde, soğuk karanlık maddenin kozmolojik ölçeklerdeki davranışını taklit etmek.”

McGaugh, yazarların kozmolojik sabit ve soğuk karanlık maddeyi (Λ CDM) içeren mevcut kozmolojik modelimizin karanlık maddenin var olmasını gerektirecek kadar başarılı olduğunu söylediğini öne sürüyor. Bununla birlikte MacGaugh, yazarların konuya tersten baktığına da inanıyor. Ona göre daha doğru olan açıklama, “ Λ CDM modeli yalnızca ve yalnızca, eğer karanlık madde varsa doğrudur” şeklinde olmalıdır. McGaugh daha sonra şakacı bir üslupla Bertone ve Tait’in iddiasını “ Λ CDM modelinin gözlemlerle uyumlu hale getirilebilmesinin tek yolu; etkili ve çok hassas bir şekilde, modifiye Newton dinamiğinin (MOND) davranışlarını taklit etmesidir” şeklinde değiştiriyor.

Bu bakış açısı çatışması gerçek bir problem ortaya koyuyor. Gördüğümüz gibi (bkz. s. 74), NGC 1560 galaksisi gibi modifiye kütleçekimi kuramına karanlık maddeden çok daha iyi uyan belirgin vakalar var. Bu örneklerin bazılarını, örneğin Kurşun kümesini karanlık maddenin var olması durumuyla açıklamak, modifiye kütleçekimi kuramıyla açıklamaktan çok daha zordur. Ve karanlık maddenin tahminlerinden sapma kendisini açıkça en çok NGC 1560 örneğinde gösterse de, galaksilerin büyük çoğunluğunda karanlık madde, gözlemlenen dönme eğrisiyle uyuşma konusunda modifiye kütleçekimine göre daha az başarılıdır. Karanlık maddenin gözlemlere uyması, yalnızca karanlık madde fikrinin kullanılması için gereken ekstra parametrelerin önemli ölçüde değiştirilmesiyle mümkündür. Bu kesinlikle bir defaya mahsus bir şey değildir.

Birkaç yıl önce karanlık maddeye karşı bir argüman sunmak zor olurdu. Şimdi ise her ne kadar astrofizikçilerin ve kozmologların çoğunluğu karanlık maddeyi modifiye kütle çekimine tercih ediyor ve eksik parçacıkların bir noktada keşfedileceğini düşünüyor olsa da, daha dengeli bir görüş farklılığı söz konusu. Biraz zaman gerekecek. McGaugh'un ifade ettiği gibi: "Karanlık madde konusunda uzman olan pek çok bilim insanı, Modifiye Newton Dinamiği'nin ne demek olduğunu veya neleri başarabildiğini ve neleri başaramadığını bilmiyor." Sosyolojik değişim yavaş gerçekleşir. Ancak eğer giderek daha fazla deney karanlık madde parçacıklarını keşfetmede başarısız olursa, modifiye kütleçekiminin genel kabul gören resim olma konumuna geldiği bir kırılma noktasına gelebiliriz.

Eskilerin dediği gibi, kanıtın yokluğu yokluğun kanıtıyla aynı şey değildir. Karanlık madde parçacıklarını tespit edememiş olmamız, onların var olmadığı anlamına gelmez. Ancak, bilimin tam anlamıyla mantıksal çıkarımlarla işlediğini düşünmek de yanlış olur. Bu, pratikte neredeyse imkânsızdır. Çünkü tümdengelim (çıkarım), eksiksiz bilgi gerektirir. Örneğin eğer ben tüm yıldızların nükleer füzyonla işlediğini biliyorsam ve gökyüzünde ışık saçan ama gücünü nükleer füzyondan almayan bir şey görürsem, onun bir yıldız olmadığı sonucuna varabilirim. Bununla birlikte bilimin tamamına yakını, tümdengelim yerine tümevarım yoluyla çalışır. Tümdengelim, tanım gereği kesin bir kanıt üretirken tümevarım mevcut kanıtlarla çalışır ve neyin en olası olduğunu söyler.

Basit bir örneği inceleyelim. Halley kuyruklu yıldızının 2061'de geri döneceğini öngörebilirim. Bu kuyruklu yıldız, hakkında Newton yasalarıyla astronomik bir tahmin yürütülen ilk gökcisimlerinden biriydi. Şimdiye kadar, 1705'te Edmond Halley kuyruklu yıldızın 1758'de geri döneceğini tahmin

ettiğinden beri; kuyruklu yıldızın yörüngesinin, onu 75-76* yılda bir geri getireceği konusunda tümevarımsal akıl yürütmeye başlandı. Ancak, beklendiği gibi geri döneceğini ispat etmem mümkün değil. Kuyrukluyıldız, bir çarpışma sonucu yörüngesinden çıkabilir. Ya da güneş sistemindeki diğer cisimler Halley'in yörüngesinin periyodunu ciddi miktarda etkileyecek değişimler yaşayabilir. Gerçekten söyleyebileceğim şey, kuyrukluyıldızın bugüne kadar yaptığımız tüm gözlemlerde bu zamanlamaya uyduğu ve güneş sistemi hakkında bildiklerimizin, kuyrukluyıldızın bunu tekrar yapacağını gösterdiğidir.

Bilimin tümevarımı kullanma biçimini göz önünde bulundurarak; eğer karanlık madde parçacıklarını tespit etmesi gereken yeteri kadar deney başarısız olursa, onların muhtemelen var olmadığını önermemiz oldukça mümkündür. 19. yüzyılın sonunda, benzeri bir şey yaşandı. Amerikalı bilim insanları Albert Michelson ve Edward Morley, ışık dalgalarının hareket ettiği var sayılan ortam olan esirin (eter) var olmadığını gösterdi. Deneylerinin sonucu, eterin varlığı için kanıt bulunmadığını gösteriyordu. Tekrar edilen deneylerle böyle bir şeyin var olmadığı başka yerlerde de yaygın olarak kabul edildi.

Şu anda MOND, karanlık maddeye karşı en öne çıkan rakip olmaya devam ediyor. Görmüş olduğumuz gibi, alternatif modifiye kütleçekimi teorileri de var. Örneğin Entropik (Beli-ren) Kütleçekimi. Ancak bu teori, MOND kadar güçlü görünmüyor. Yine de bu teori 2017'den beri var ve entropik kütleçekiminin farklı bir hali, MOND'a meydan okuyacak olabilir. Ve elbette; bazılarının, her iki tarafın da en iyi yönlerini aldığını düşündüğü süperakışkan karanlık madde isminde melez bir yaklaşıma da sahibiz. Karanlık madde ve modifiye kütleçekimi yarışmacıları arasında oynanan bu oyunun kazananı kesinlikle henüz belli değil.

* Halley, 76 yıl olarak öngörmüştü. Günümüzde kabul edilen değer ise yaklaşık 75,3 yıldır.

Henüz geniş bir desteğe sahip olmayan, hesaplamalarda ki matematiksel hata önerisi (bkz. s. 84) haricinde evrende önemli etki yaratan bir şey olduğu kabul edilmektedir. Şu an için bu olay, modifiye kütleçekiminin bir sonucu olabileceği koşuluyla (genellikle unutulmuş bir koşul), karanlık maddeye atfedilmiştir. Sebep ne olursa olsun, burada daha fazla araştırılması gereken önemli etkiye sahip bir şey var.

Temel bilgiler bile sorgulandı

Kozmoloji ve astrofiziğin sıklıkla karşılaştığı problem, çalışmaların çoğunun çok dolaylı olması ve yüksek miktarda belirsizlik içermesidir. Karanlık maddeyi bulma konusunda yeteri kadar problem var gibi gözüküyor olabilir ama pratikte astronomlar evrendeki “gerçek” maddeyi bulmak için bile mücadele ediyorlar.

Ölçümlerimizin en sağlam olmasını bekleyebileceğimiz yakın galaksileri inceleyen son araştırmalar, bazı galaksilerin beklenenin üçte biri kadar normal maddeye sahip olduğunu gösteren sonuçlar ortaya çıkarttı. Samanyolu galaksisinde bile, beklenen madde miktarının yarısı kayıptı. Özellikle de kozmik mikrodalga arka plan ışımasından gelen dolaylı ölçümlerin daha fazlası doğrudan ölçümlerin öngördüğü madde miktarıyla örtüştükçe, durum daha büyük bir bulmacaya dönüşüyor.

“Kayıp maddenin” ardındaki sebep hakkında önde gelen teorilerden biri, karanlık madde halesinin, çok fazla maddeyi kendisine çekmeyi başardığıdır. Bu sayede, oldukça büyük miktarda sıradan madde de, galaksinin görünen kısmında yatmak yerine; tahmin edilen küresel halenin içerisinde bulunmakta ve gözlemlenemeyecek kadar sönük bir ışık yaymaktadır.

2018 yılında astronomlar, birkaç galakside bu etkinin ufak bir imzasını bulmak için Avrupa Uzay Ajansı’nın XMM-New-

ton X-ışını gözlemesini kullandılar. Ancak sonuçlar hayal kırıklığı yarattı. Halelerde gerçekten de normal madde var gibi görünüyordu ancak bulgular kayıp madde miktarının yalnızca dörtte birini açıklıyordu.

Kayıp madde, hesaplamanın baştan beri yanlış olduğu fikrini daha fazla dikkate almak için motivasyon olarak görülebilir (bkz. s. 84) ancak, şimdilik sadece daha fazla araştırmaya ilham veriyor. En büyük umut, kayıp maddenin galaksilerde değil de evrende dağılmış halde olması. Bu, maddeyi tespit etmeyi son derece zorlaştırır ancak bahsettiğimiz XMM-Newton teleskobunun 2018'in ilerleyen dönemlerinde ürettiği veriler, kayıp maddenin birazına, belki de çoğuna karşılık gelebilecek, ciddi miktarda gaz bulunduğunu öne sürmektedir (bu gaz galaksilerarası ılık-sıcak ortam olarak bilinir). 2028'de fırlatılacak olan ve daha hassas bir uydu gözlemevi olan Athena, bu hayalet malzeme hakkında veriler elde edilmesine yardımcı olacaktır.

Karanlık veri gelmeye devam ediyor

Karanlık madde gibi, karanlık enerji parametreleri hakkında da gözlemler devam etti. Halen devam etmekte olan en önemli gözlemlerden bir tanesi, Karanlık Enerji Araştırması'dır. Bu, Şili'de bulunan Cerro Tololo Gözlemevindeki 4 metre açıklığa sahip ve kıızıdan kızılötesine kadar oldukça geniş bir görüş açısına sahip kamerayla donatılmış Victor M. Blanco teleskobunu kullanan bir projedir. Beş yıllık gözlem içeren araştırma, 2013 yılında başladı ve 2019'un başında tamamlandı.

Gökyüzünün güney bölgesindeki 26 milyon galaksiden ve zamanın nispeten yakın bir döneminden, 8 milyar yıl öncesinden görüntüler getiren ve sürecin karmaşıklığını gösteren ilk yıla ait çalışmaların sonuçları 2017 yılında yayımlandı. Sonuç Planck uydusundaki gözlemlerle tamamen eşleşmiyor. Bu araştırma, dengeyi düşünülenden daha fazla karanlık

enerji olduğu fikrine yaklaştırarak, karanlık enerji/karanlık madde/normal madde oranını 74:21:5 olarak veriyor.

Her ne kadar, Planck uydusunun verileriyle birlikte Karanlık Enerji Araştırması bize karanlık enerji miktarı hakkında en iyi resmi sunsa da, bu tür verilerde hâlâ mevcut olan belirsizliği de vurgular. Her iki uydunun toplam aralığını alırsak, yüzde 95 güven aralığına (fizik standartlarına göre çok düşük bir güven aralığı) sahip olmak için evrenin yüzde 80'i ila 57'sinin karanlık enerjiden oluştuğunu söyleyebiliriz.

İki kaynaktan elde edilen verilerin uç noktalarında, Karanlık Enerji Araştırması ve Planck arasında önemli bir farklılık olduğunu görürüz. İkisi arasındaki önemli bir fark, Karanlık Enerji Araştırması'nın, 13,4 milyar yıl önceye bakan Planck'a kıyasla, nispeten yakın geçmişi kapsamasıdır. Bu nedenle, diğer kanıtlar (bkz. s. 131) töz fikrini geri plana atıyor olsa bile söz konusu çalışmalar bu fikri tekrar sahneye döndürebilir. Yine de beş yıllık verilerin yalnızca bir yıllık kısmının işlendiğini de aklımızda bulundurmamız gerekir. Daha fazla veri, farkı açığa çıkarabilir ya da tamamen silebilir.

Görmüş olduğumuz gibi (bkz. s. 137), Büyük Sinoptik Araştırma teleskobunun, tüm gökyüzünü tekrar tekrar taraması bekleniyor. Bu, karanlık maddenin etkisini daha iyi ölçmeye çalışmanın yanı sıra, evrenin genişleme oranını da, her zamankinden daha doğru bir şekilde gösterebilecek.

İyi de karanlık enerji nedir?

Karanlık enerjiyi açıklamak için önerilen çok fazla teori olduğunu aklımızda bulunduralım. Bu hipotezlerin bazıları, yeni veriler elde edildikçe düzenli olarak elenmektedir. Herhangi bir özel farklılığı destekleyemeyecek kadar az kanıt içeren çok sayıda teori vardır. Hepsini listelemek sıkıcı olur, ama bir örnek vermek gelirse, 2018 yılında, simetron alanının çöküşünü gördük.

Buradaki fikir, tıpkı elektromanyetik alanda olduğu gibi, parçacıkların kütle kazanmasında etkili olan Higgs alanı gibi başka bir alanın da uzaya yayılmış olmasıydı. Bu durumda söz konusu alan, evreni daha hızlı genişlemesi için itecekti. TU Viyana'daki araştırmacılar varsayımsal simetron parçacıklarının, ultra soğuk nötronlar üzerindeki etkisini ölçmeyi umuyordu. Fakat hiçbir etki gözlemlenmedi. Deney, simetronları tamamen göz ardı etmiyor ama karanlık enerji çalışması yapmak için gerekli olan kütle aralığında olmadıklarını ortaya koyuyor, ki bu da onların var olduğunu ortaya atmamızın tek sebebiydi.

Ancak gerçekte olup biteni açıklamak için, biri diğerinden daha özel ya da daha başarılı olmayan çok çeşitli teorik ihtimaller hâlâ var. Ve her an yeni teoriler ekleniyor. Örneğin, 2018 yılının sonunda, Uppsala Üniversitesi'ndeki araştırmacılar, karanlık enerjinin kaynağı için sicim teorisi temeline dayanan yeni bir açıklama ileri sürdü.

Gördüğümüz gibi, sicim teorisi tarafından önerilen süpersimetrik parçacıklar, daha önce karanlık madde adayı olarak önerilmişti. Ancak bu parçacıklar hiç gözlemlenmedi ve bu nedenle, bir zamanlar kuantum fiziği ile genel göreliliği birleştirme girişiminde hâkim görüş olan sicim teorisi, etkileyciliğini kaybetmektedir.

Sicim teorisi ilk bakışta çok basit gelir. Teori; parçacıklar yerine her şeyin tek boyutlu ve farklı şekillerde titreşen, bildiğimiz tüm kuvvetleri ve parçacıkları üreten sicimlerden oluştuğunu öne sürer. Ancak, teorinin biraz daha derinine indiğimizde, sicim teorisiyle ilgili büyük sorunlarla karşılaşırız. Teori, deneyimlediğimizden, kuşku uyandırıcı şekilde farklı bir evrene, dokuz ya da on uzamsal boyuta ihtiyaç duyar. Teorinin, birbirinden farklı 10^{500} muhtemel sonucunu birbirinden ayırmanın bir yolu yoktur ve hiçbir yararlı öngöründe bulunmaz.

Sicim teorisinin, evrenimize uyup uymadığına bakmaksızın matematiğin "güzelliğine" hevesi olan bazı teorisyenle-

re çekici geldiğine kuşku yoktur. Kozmolojik sabitin negatif olması durumunda sicim teorisinin daha iyi çalıştığı gösterilmiştir. Bunun sonucunda pek çok teorisyen, gözlemlenen kozmolojik sabit pozitif olsa bile, günlerini negatif kozmolojik sabit kullanarak sicim teorisi üzerinde çalışmaya harcamıştır.

Tüm bunları göz önünde bulundurarak, Uppsala'daki araştırmacılar evrenimizin, sicim teorisinin gerektirdiği ekstra boyutlardan birinde genişleyen bir baloncukun kıyısında bulunduğu bir model öne sürdüler. Bu modelde, tecrübe ettiğimiz madde bahsettiğimiz ekstra boyutta uzanan sicimlerin uçlarıdır. Bunun olması, sicim teorisiyle uyumludur ve genişleyen baloncuk, karanlık enerjinin kaynağıymış gibi davranacaktır.

Olaya kötümser bakanlar bunun karanlık enerjinin ne olduğunu bilmediğimizi söylemekten pek de farklı olmadığını ve modelin, evrenin son derece basitleştirilmiş haline bağlı olduğunu söyleyebilir. Ancak bu model, teorisyenlerin karanlık enerjinin varlığını açıklamak için birtakım mekanizmalar aramaya devam edişinin bir örneğidir.

İki şeyi birleştirmek

Karanlık madde gibi karanlık enerjiye ilişkin de alternatif açıklamalar mevcuttur. Fakat karanlık enerjiye meydan okuyan çalışmalar daha spekülatiftir. 2018'in sonlarında, Oxford Mühendislik Bilimi Bölümü'nün e-Araştırma Merkezi'nden Jamie Farnes, sadece karanlık enerjiyi değil karanlık maddeyi de açıkladığını öne sürdüğü bir makale yayımladı.

Farnes, evrenin negatif kütle özelliğine sahip bir akışkan olan yeni bir bileşenini ortaya attı. Bu ona negatif kütleçekimi yani normal maddeyi itme özelliği kazandırıyordu.* Bu

* Böyle bir madde, yakalanması halinde, yoktan enerji üreten bir devridaim makinesi yapmayı mümkün kılar.

yaklaşımındaki problemlerden biri doğal olarak böyle bir maddenin evren genişledikçe seyrilmesi ve bu sebeple karanlık enerji gibi genişlemeyi hızlandırmak yerine, etkisinin azalmasından dolayı genişlemeyi yavaşlatmasıdır. Bununla başa çıkmak için Farnes, “yaratım tensörü” diye tanımlanan fikri ortaya koydu (görmüş olduğumuz gibi tensörler, genel görelilikte de kullanılan, genelleştirilmiş, çok boyutlu matematiksel yapılardır).

Bazıları yaratım tensörünü modelin çalışması için uydurulmuş bir tür “kanca” benzeri konsept olarak düşünürler. Ancak bu, böyle bir madde yaratım mekanizmasının ilk kez öne sürülmesi olmayacaktı (örneğin, evrenin süredurum modelinde; kütleçekimi, elektromanyetizma ve diğer alanlara, maddenin sürekli olarak yaratımına sebep olan “C-alan” isminde yeni bir alan daha eklenmişti). Farnes’in negatif kütleli akışkanı, yan ürün olarak aynı zamanda karanlık maddeye atfedilen bazı gözlemleri de açıklayacaktı.

Bu kitabın yazımı sırasında, bu teoriye verilen destek çok azdı. Hem Farnes’in yöntemi hem de evren anlayışımızdaki önemli değişiklik göz önünde bulundurulduğunda, bu çok da şaşırtıcı değil. Süpernovaların standart mum olarak kullanılması için araştırma yapan Berkeley fizikçilerinin, astronomlardan ne kadar tepki aldığını unutmayın. Farnes da bir mühendislik bölümünden geliyordu.

Diğer mesele ise oyuna dahil olan büyük varsayımlardır. Negatif kütle de madde yaratımı da önceden ortaya konmuş olsa bile, bunların evrende gerçekten mevcut olduğuna dair hiçbir kanıt yoktur. Teorisyenler, her zaman gerçekle uyuşmayan abartılı modeller üretirler. Bahsettiğimiz bu durumda, negatif kütle ilginç sonuçlar veriyor olabilir. Fakat beraberinde, rahatsız edici bir yük de getirir.

Özellikle, genel görelilik teorisi her ne kadar negatif kütlenin üzerini çizmese de, böyle nesnelerin nasıl davranacağı

açıktır. Eğer hem pozitif hem de negatif kütlenin varlığını kabul edersek, kütle, elektrik yükünün ters versiyonu gibi olur. Benzer elektrik yüklerinin birbirini itmesi ve zıt elektrik yüklerinin birbirini çekmesi fikrine aşınayız. Kütle durumunda ise, benzer kütleler birbirini çektiği gibi, zıt kütleler de birbirini itmeli. Yani, negatif kütleli nesneler, birbirini çekmelidir. Lakin, Farnes'in makalesinde, negatif kütleli nesneler birbirini itmektedir. Bu da, basitçe, genel görelilik ile örtüşmez.

Bu fikrin, değerini uzun süre koruması pek mümkün değildir ve çözeceği düşünülen problemlerden daha dramatik problemler ürettiği öne sürülmüştür. Ancak yalnızca, başlangıçta başarısız olan ve değerini uzun dönemde gösterecek (veya göstermeyecek) öneriler ile ilerleyebiliriz. Bunun gibi fikirler, basında genellikle yanıltıcı başlıklarla yapılan yorumlara kulak vermek yerine dikkatle araştırılmalıdır. Bu fikirler bilimin ilerlemesi için faydalıdır.

Karanlıkta dans

Kitabın sonuna yaklaşırken, yazılanlar destansı bir başarısızlık üzerineymiş gibi anlaşılabilir. Eğer varsa bile, karanlık maddenin ne olduğunu hâlâ bilmiyoruz. Karanlık enerjinin ne olduğunu da hâlâ bilmiyoruz; kozmolojik sabit ile tahmini değerler arasında 10^{120} kat fark var. Yani hâlâ karanlıktayız.*

Fakat ben karanlık maddeye ve karanlık enerjiye ilişkin anlayışımızın şu anki durumunu olumlu buluyorum. 19. yüzyılın sonuna doğru, fizik profesörü Philipp von Jolly, fizik öğrencisi ve konser verebilecek kadar iyi bir piyanist olan Max Planck'a, fizik alanında ayrıntıları ve gözlemleri daha hassas hale getirmekten başka yapılacak pek fazla bir şey kalmadığı

* Yapılan son çalışmalar, teori ve gözlem arasındaki farkı, "sadece" 10^{50} ile 10^{60} olarak ortaya koyuyor. Ancak her iki şekilde de, konu pek basit değil.

için fizikten ziyade müzik peşinde koşmasını söyledi. Keşfedilecek yeni bir şey kalmamıştı. Birkaç on yıl içerisinde, şimdi fiziğin temel ilkelerinden olan, –Planck’ın kendisinin başlattığı– kuantum teorisi ve görelilik teorisi ortaya atılacaktı ve bu ilkeler, bildiklerimizi tamamen değiştirecekti.

Bazıları bilimin şu an gerçekten Jolly’nin söylediği “nere-deyse tamamlanmış olma durumu”na ulaştığını söylemeye özeniyor. Yine de ben, karanlık enerji ve karanlık maddenin, açıkça, daha yapılacak çok şey olduğunu gösterdiğini öne sürüyorum. Bu konuda yalnız değiller. Örneğin hâlâ kuantum fiziğini ve genel görelilik teorisini birleştirmemiz gerekiyor. Higgs bozonu bulunmuş olmasına rağmen kütleli parçacık fiziğinin standart modeline iyi oturmuyor. Bu da, ya (inatla ortaya çıkmayı reddeden) yeni parçacıkların var olduğunu ya da standart modelin temelde kusurlu olduğunu düşündürüyor. Bilincin nasıl çalıştığı veya basit ya da karmaşık yaşamın nasıl başladığı hakkında hiçbir fikrimiz yok. Birçok soru cevaplanmaya devam ediyor.

Bana göre bilgisizliğimizin şu anki seviyesi depresyonu değil hazzı tetiklemekte. Son 200 yılda bilimde çok fazla şey öğrendik. Yine de, keşfedilecek hâlâ çok fazla şey var. Her şeyi bilseydik ya da bize meydan okuyacak yeni entelektüel sınırlar olmasaydı, evren sıkıcı olurdu. Evreni anlayışımızdaki büyük karanlık delikler; karanlık madde ve karanlık enerji, her zamanki gibi uyarıcı olmaya devam ediyor. Tıpkı Sherlock Holmes’un yeni bir müşteriyi kabul ederek enerji dolması gibi, bilim insanları da karanlık maddeye ve karanlık enerjiye, çabalarına layık ve zorlayıcı gizemler olarak bakabilirler.

Bilim çağında yaşıyoruz. Dikkat çekici biçimde, şimdiye kadar yaşamış tüm bilim insanlarının yaklaşık yüzde 90’ı bugün hayatta. Yüzleşecekleri büyük zorlukların olduğu açık bir gerçektir.

Karanlık oyun devam ediyor.

İLERİ OKUMA

Bölü 1: Hiçbir Şey Görüldüğü Gibi Değil

Ignorance, Stuart Firestein (OUP, 2012) – Cehaletin, bilimsel keşifleri yönlendirişini araştırıyor.

The Reality Frame, Brian Clegg (Icon Books, 2017) – Göreliliği ve bizim evrenle olan ilişkimizi araştırıyor.

Bölüm 2: Evreni Keşfetmek

Astroquizzical, Jillian Scudder (Icon, 2018) – Güzel ve basit bir evrene giriş.

Gravitational Waves, Brian Clegg (Icon, 2018) – Hot Science serisinden, kütleçekim dalgalarının keşfi ve bu keşfin evren hakkında daha fazla şey öğrenmek için nasıl kullanılabileceği üzerine.

Bölüm 3: Kayıp Madde Meselesi

Cosmic Impact, Andrew May (Icon, 2019) – Hot Science serisinden, Asteroid ve göktaşlarının, dinazorların neslinin tükenmesi de dahil Dünya'ya olan etkisine üzerine.

Dark Matter and the Dinosaurs, Lisa Randall (The Bodley Head, 2015) – Karanlık madde ve dinazorların neslinin tükenmesi arasındaki muhtemel ilişki hakkında, bu teoriyi destekleyen bir perspektiften detaylı bir araştırma.

Bölüm 4: Evren Ne Kadar Büyük?

Astrophysics for People in a Hurry, Neil deGrasse Tyson (Norton, 2017) – Astronomi ve kozmolojiye, dost yanlısı bir yaklaşım.

Before the Big Bang, Brian Clegg (St Martin's Griffin, 2011) – Büyük patlama ve büyük patlama öncesinde ne olduğunu araştırıyor.

The Beginning and the End of Everything, Paul Parsons (Michael O'Mara Books, 2018) – Kozmoloji üzerine şu anki fikirlere güzel bir genel bakış.

Bölüm 5: Büyüme Hızlanıyor

The 4-Percent Universe, Richard Panek (Oneworld Publications, 2012) (Evrenin Yüzde Dördü, TÜBİTAK, 2016) – Karanlık madde ve karanlık enerji arayışına dahil olmuş bireyler hakkında detaylı ancak güncelliğini biraz yitirmiş bir eser.

The Cosmic Web, J. Richard Gott (Princeton University Press, 2016) – Karanlık enerji de dahil, büyük ölçekli kozmolojiye, nispeten teknik ancak samimi bir yaklaşım.

Bölüm 6: Devam Eden Hikâye

Karanlık madde ve karanlık enerji hakkındaki haberler, neredeyse her hafta değişmektedir. Ancak çoğu zaman bu haberler, daha fazla teori veya daha fazla çelişkili veriler hakkındadır. Aşağıdaki internet sitelerinde, “karanlık madde” ve “karanlık enerji” aramaları yapılarak, en son gelişmeler hakkında bilgi edinilebilir:

www.physicsworld.com

www.quantamagazine.org

www.sciencedaily.com

DİZİN

antikaranlık madde 59, 61
antimadde 59, 103
Aristarkos 29
Aristoteles 9, 10, 26, 27, 28, 29,
30, 89, 121
Arşimet 28, 29

beliren (entropik) kütleçekimi
77, 78, 144

belirsizlik ilkesi 123

Bell, Jocelyn 42

Bose-Einstein yoğunlaşması 79

Brahe, Tycho 31

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı,
CERN 57, 59, 139, 140

Casimir, Hendrik 124

CERN 48, 57, 58, 139

Cerro Tololo Gözlemevi 146

Chadwick, James 46

Chandra X-Işını Gözlemevi 133

COBE uydusu 22, 53

cüce galaksiler 75, 76, 138, 139

DAMA dedektörü 65

Davis, Marc 55, 65

değişen yıldızlar 92, 93, 94, 110,
111, 127

dış çember 30, 31, 121

dolaşıklık 78

Doppler etkisi 95

Efstathiou, George 55

Einstein, Albert 11, 12, 18, 32,
49, 59, 70, 77, 97, 100, 101,
103, 121, 122, 123

esir (eter) 10, 144

Fermi, Enrico 46, 61

Galileo Galilei 22, 23, 30, 31, 111

Geleceğin Dairesel Çarpıştırıcı-
sı, CERN 139, 140

Halley, Edmond 144

Halley kuyruklu yıldızı 143

Heisenberg, Werner 123

Higgs alanı 58, 148

Hoyle, Fred 11, 42, 140, 141

Hubble, Edwin 16, 94, 96, 97,
112, 119, 125, 126, 131

Hubble Uzay Teleskobu 22, 119,
125, 130, 133

- Isaac Newton teleskobu 115
- Jolly, Phillip von 151, 152
- karanlık foton 70
- Kepler, Johannes 31
- Kopernik, Nikolas 30, 31
- kuantum tünelleme 34
- kuark 40, 44, 60, 61, 103
- kuasar 23, 105
- Kuhn, Thomas 141
- kütleçekimsel mercek etkisi 12, 13, 44, 56, 132, 134
- Leavitt, Henrietta Swan 93
- Lemâître, Georges 97
- LIGO dedektörü 57, 70, 138
- LISA dedektörü 70
- Modifiye Newton Dinamiği (MOND) 72, 74, 75, 76, 77, 78, 131, 142, 143, 144
- Morley, Edward 144
- Negatif kütleli akışkan teorisi 150
- Newton, Isaac 32, 43, 73, 75, 100, 117, 143
- nötrino teleskobu 52
- nötron 10, 11, 40, 45, 46, 58, 103, 108, 148
- Oort, Jan 16
- Paley, William 25
- parsek 91
- Pauli, Wolfgang 45, 46, 60, 109
- Penzias, Arno 51, 52, 53
- Perlmutter, Saul 113, 114, 116, 117, 121, 126, 130
- Planck, Max 147, 151, 152
- Planck uydusu 53, 146, 147
- Poincaré, Henri 16
- pulsar 42
- Randall, Lisa 69, 81, 83
- Rubin, Vera 42, 43, 44, 140
- Saari, Donald 84, 86, 87
- Sefe değişenleri 93, 94, 110
- sicim teorisi 60, 61, 66, 148, 149
- süperakışkan karanlık madde 79, 80, 144
- süpersimetri 60, 61, 69, 148
- tensör 75, 122, 150
- termodinamik 77
- toplanma diski 35
- Turner, Micheal 17
- tümdengelim 143
- tümevarım 143, 144
- Victor M. Blanco teleskobu, Şili 146
- W bozonu 40
- Wheeler, John 12
- WMAP uydusu 22
- Zwicky, Fritz 11, 12, 13, 14, 15, 36, 41, 42, 44, 55, 107

İNGİLTERE'DE 2019 YILININ EN İYİ 5 ASTRONOMİ VE UZAY KİTABINDAN BİRİ

Karanlık madde ve karanlık enerji, evrenin bilim insanlarına sorduğu en zor ve en tuhaf bilmecelerden biri. Gördüğümüz ve ölçebildiğimiz şeyler evrenin yalnızca %5'ini oluşturuyor. Geri kalan %95'in varlığını sadece etkilerinden dolayı, sadece matematiksel hesaplamalar yoluyla anlayabiliyoruz. Bilim insanları evrenin bu anlaşılamayan, kayıp, gizemli kısmına "karanlık madde" ve "karanlık enerji" adlarını veriyor.

Popüler bilim yazarı Brian Clegg'in bu kitabı yalnızca karanlık madde ve karanlık enerji konusuna değil, astronomi ile modern fiziğin belli başlı konularına oldukça aydınlatıcı bir ışık tutuyor. Kaçırmayın.

"Açık, kısa ve öz. Evrendeki en büyük soru işaretlerinden birine dair okuyabileceğiniz, giriş niteliğindeki, anlaşılması en kolay kitaplardan biri."

—BBC Sky at Night



internet satış
saykitap.com

ISBN 978-605-02-0822-1



9 786050 208221

SAY YAYINLARI

- sayyayincilik.com
- facebook.com/sayyayinlari
- twitter.com/sayyayinlari
- instagram.com/sayyayincilik