13,8 milyar yıl önce başlayan bir hikâye...

HER ŞEYİN BAŞLANGICI VE SONU

Büyük Patlama'dan Evrenin Sonuna

PAUL PARSONS

ÇEVİREN: DR. H. TUĞÇA ŞENER

maya

Dr. Paul Parsons: Önceleri Sussex Üniversitesi'nde kuramsal kozmolog olan Paul Parsons, halen Guardian, Daily Telegraph ve New Scientist'e katkı sağlayan bir bilim habercisi ve yazardır. BBC'nin birçok ödül almış bilim dergisi *Focus*'un editörlerindendir. *BBC Sky at Night* dergisinde yönetici editör olarak da görev yapan Parsons'ın diğer kitapları arasında *The Science of Doctor Who, The Periodic Table, 3-Minute Stephen Hawking* ve *50 Science Ideas You Really Need to Know* bulunuyor.

Dr. H. Tuğça Şener 2006 yılında Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'nden mezun olmuş, yüksek lisans çalışmaları sırasında tam burslu olarak Max Planck Institüte für Radio Astronomie - Üniversitat Bonn'da kayıtlı öğrenci olarak derslere ve gözlemlere katılmış, lisansüstü öğrenimini Erciyes Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri'nde tamamlamıştır. Doktora çalışmalarını Armagh Gözlemevi'nin bursuyla Kuzey İrlanda'da, Queen's University Belfast'ta sıcak alt cüce türü yıldızlar üzerine yürütmüş, doktora sonrası araştırmalarına 2015-2018 yılları arasında Dev Macellan Teleskobu'nun bilim ekibinde Kore Astronomi ve Uzay Bilimleri Enstitüsü'nde devam etmiştir. 2019-2020 yıllarında Polonya'da Krakow Pedagoji Üniversitesi'nde Yardımcı Doçent olarak görev yapmıştır, bilimsel çalışmalarını şu anda serbest araştırmacı olarak sürdürmektedir. Üniversite öğrencilerinin araştırma yöntemlerini öğrenmelerine ve akademik gelişimlerine katkıda bulunmak ve özgürce soru sorabilecekleri bir platform sağlamak amacıyla kurduğu Bilim Adımları adlı oluşumla üniversite öğrencilerine danışmanlık vermektedir. Kurucusu olduğu, Türkiye'nin ilk astronomi odaklı podcast'i olan AstroNotlar, 2020'den beri her hafta yeni bölümlerle yazılı ve işitsel platformlarda güncellenmektedir. 2021 yılında Anadolu Üniversitesi Medya ve İletişim Bölümü'nden önlisans diploması almış olan Dr. Şener düzenli olarak BirGün gazetesinde ve çeşitli popüler bilim dergilerinde yazarlık yapmaktadır.

Maya Kitap: 278
İnceleme: 79

Her Şeyin Başlangıcı ve Sonu
Paul Parsons

Özgün adı: *The Beginning and the End of Everything*
Çeviren: H. Tuğça Şener

ISBN: 978-625-8361-10-0
1. baskı: İstanbul, Ekim 2022

© Paul Parsons, 2018
© Maya Kitap, 2022

Yayın yönetmeni: Tahir Malkoç
Editör: Selin Saraçoğlu Bayraklı
Redaktör: Melda Uytun
Kapak uygulama ve sayfa tasarımı: Yiğit Berker

Baskı ve cilt: Deniz Matbaa Mücellit - Çetin Koçak
Maltepe Mah. Hastane Yolu Sok. No: 1/6 Zeytinburnu/İstanbul
Tel: 0212 613 3006 · Sertifika No: 48625

Bu kitabın yayın hakları Maya Kitap'a aittir. Kaynak gösterilerek tanıtım için kullanılacak kısa alıntılar dışında yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz ve paylaşılamaz.

mayakitap

Gürsel Mahallesi Erzincan Sokak No: 36/B
34400 Kağıthane İstanbul · Tel: 0212 296 9712
Sertifika No: 14079

info@mayayayinlari.com
www.mayayayinlari.com
mayakitap

Her Şeyin Başlangıcı ve Sonu

Büyük Patlama'dan Evrenin Sonuna

Paul Parsons

Çeviren

H. Tuğça Şener

maya

Profesör Stephen W. Hawking'in (1942-2018)
anısına...

Çevirmenin Önsözü

1920'li yıllarda, Türk gencinin bulunduğu yerde kalarak bilime erişim şansı olmadığı için, Mustafa Kemal onları yurtdışına birer kıvılcım olarak göndermişti. Birer alev topu olarak dönen o kıvılcımlar sayesinde bugünün Türkiye'sinde sorun, artık bilime erişmekte değil, gençlerimizin bilimle anadillerinde tanışma imkânının görece kısıtlı oluşunda. Bunun temel nedenleri arasında bilimi ithal eden bir ülke olmamızın yanı sıra terminolojinin Türkçeleştirilmesine gereken önceliği vermememiz de yer alıyor.

Her geçen gün yeni olgular ve terimlerle gelişen ve genişleyen bilim dalları arasında belki de ilk sıralarda fizik ve astronomi yer almakta. İnternetin yaygınlaşması ve bilgiye erişimin kolaylaşması ile artık birçok gelişmeye doğrudan kaynağından erişebilen araştırmacılar için yabancı dil pek de zorlu bir bariyer değil. Öte yandan bilimle yeni tanışan çocukların ve gençlerin bu tanışıklığı anadillerinde gerçekleştirmesinin bu yeni olguları algılayış ve kavrayışlarını kolaylaştıran bir unsur olduğu su götürmez bir gerçek.

Bu eserin Türkçeleştirilmesinde, mevcut *Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü* oldukça faydalı bir kaynak olmuş olsa da sürekli ilerleyen fizik ve astronomi dallarında henüz Türkçeleştirilmemiş birçok yeni terim de gün yüzüne çıktı ve bu yeni terimlerin Türkçeleri bu kitapta uygulamalı olarak kullanıma sokulmuş oldu. Bu eserde, önden ve sondan eklemeli diller arasındaki bazı genel kuralların istinai durumlara da uygulanması ile yanlış Türkçeleştirilmiş kimi terimlerin düzeltilmesine dair çeşitli girişimler de bulacaksınız.

İnsanlığın başını kaldırıp yüzünü göğe dönmesiyle yüzyıllardan beri merak unsuru olan astronomiye sizi bir adım daha yaklaştırmasını ve bilimin sonsuzluğu yanında bildiklerimizin aslında ne kadar sınırlı olduğunu görmenize yardımcı olmasını umduğum bu eseri heyecan ve merakla okumanızı diliyorum.

Bu eserin çevirisi, bilinmeyenin heyecanına karışan korkuyu, bilimin en güçlü silahlarından biri olan merak ve cesaretle yenen Bilim Adımları'nın çalışkan üyelerine adanmıştır.

Dr. H. Tuğça Şener

İçindekiler

ZAMAN ÇİZELGESİ 9

GİRİŞ 13

BİRİNCİ BÖLÜM
Evrendeki Yerimiz 23

İKİNCİ BÖLÜM
Kuram İçinde Kuram 45

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
Genişleyen Kainat 70

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
Çift Dumanlı Namlu 90

BEŞİNCİ BÖLÜM
Evrenin Çoğu Kayıp 107

ALTINCI BÖLÜM
Kuantum Molası 127

YEDİNCİ BÖLÜM
Karanlığa Doğru 146

SEKİZİNCİ BÖLÜM
Daha Büyük Bir Patlama 163

DOKUZUNCU BÖLÜM
Gökadaların Doğuşu 180

ONUNCU BÖLÜM
Hiç Yoktan 195

ON BİRİNCİ BÖLÜM
Paralel Dünyalar 207

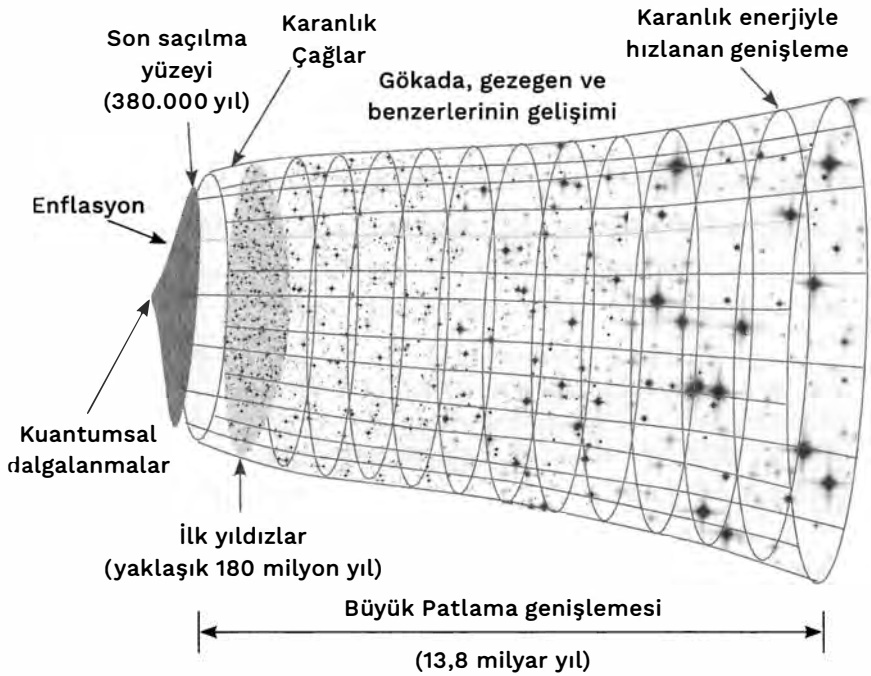
ON İKİNCİ BÖLÜM
Çökme Zamanı 228

ON ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
Uzun Karanlık Sonsuzluk 247

ON DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
Bilinmeyene Doğru 261

TEŞEKKÜR 279

ZAMAN ÇİZELGESİ



Zaman = 0: *Büyük Patlama*

Evren, sonsuz bir yoğunluk ve sıcaklık halinde doğdu. Bir önceki anda hiçbir şey yokken, bir sonraki an kütle, enerji, uzay ve zaman kendiliğinden var oldu. Kimse Büyük Patlama'ya neyin sebep olduğunu veya öncesinde neyin var olduğunu bilmiyor.

Zaman = Saniyenin 10 milyon milyar milyar milyar milyarda biri: *Planck dönemi*

Sıcaklık hâlâ 100.000 milyar milyar milyar derece. Uzay ve zaman puslu, ayırt edilemez durumda, kuantum fiziği hüküm sürmekte.

Zaman = Saniyenin yüz bin milyar milyar milyarda biri: *enflasyon*

Boyutları üstel bir hızla artan evren, bazı kozmolojik sorunların çözümünü barındırırken, daha sonra oluşacak gökadalar ve gökada kümeleri gibi, evrendeki büyük ölçekli yapıların tohumlarını oluşturacak hızlı bir kozmik enflasyondan geçiyor.

Zaman = Saniyenin milyonda biri: *Kuark dönemi*

Evren, proton ve nötronları oluşturan minik parçacıklardan oluşan bir kuark denizi.

Zaman = 1 saniye: *Hadron dönemi*

Sıcaklığın 1000 milyar derecenin altına düşmesiyle kuarklar yoğunlaşarak atomların temel yapıtaşları olan ve topluca hadron adı verilen proton ve nötronları oluşturuyor.

Zaman = 10-1000 saniye: *hafif atom çekirdeklerinin oluşumu*

Sıcaklığın bir milyar derecenin altına düşmesiyle, proton ve nötronlar bir araya gelerek hafif kimyasal elementlerden hidrojen, helyum ve az miktarda lityum elementlerini oluşturmaya başlıyor.

Zaman < 380.000 yıl: *Işınımsal dönem*

Atom çekirdekleri mevcut olsa da evren hâlâ bir araya gelmeye çalışan atomları birbirinden ayıran aşırı sıcak ışınımla çalkalanıyor.

Zaman = 380.000 yıl: *yeniden birleşme*

3700°C civarına düşen sıcaklık, nihayet elektronların protonlarla birleşmesiyle ilk atomların oluşmasına izin veriyor. Evrende ışınımdan ziyade madde baskın.

Zaman = 380.000 - 180 milyon yıl: *Karanlık çağlar*

Evrende madde baskın olmasına rağmen hiçbir yıldız, gökada veya ışıma yapan bu tarz bir şey oluşmuş değil.

Zaman = 180 milyon - 1 milyar yıl: *kozmik şafak*

İlk yıldızların parlamaya başladığı, kozmik şafak olarak adlandırılan bir olayla karanlık çağlar sona eriyor.

Zaman = 1 milyar - 10 milyar yıl: *yapıların oluşumu*

Gökadalar, kümeler ve süperkümelerin hepsi Büyük Patlama'dan yaklaşık 1 milyar yıl sonra oluşmaya başlıyor. Gökadalar kümeleniyor, kümeler de bir araya gelerek süper kümeleri oluşturuyor.

Zaman = 9,2 milyar yıl: *Güneş sisteminin doğuşu*

Samanyolu'nun etrafında dönen hidrojen, helyum ve bazı ağır elementlerden oluşan bir bulut, kendi kütleçekimiyle çökmeye başlar. Bulutun çekirdeği ısınıp genç bir yıldızı oluştururken, yıldızın etrafındaki diski oluşturan malzeme de yoğunlaşarak buzlu, kayalı ve gazlı yapılardan oluşan bir karışım meydana getirir. İşte bu Güneş sistemimizin doğuşudur.

Zaman = 13,8 milyar yıl: *günümüz*

Günümüzde evren hâlâ yıldızlarla dolu bir dönemde; yıldızlar çağında. Astronomlar bu dönemin, evren 100.000 milyar yaşına gelene kadar devam edeceğini öngörüyor. Sonrasında artık daha fazla yeni yıldız oluşmayacak. Bu zaman geldiğinde Güneş çoktan ölmüş olacak.

Zaman > 100.000 milyar yıl: *uzak gelecek*

100.000 milyar yıl sonra evrenin ne halde olacağı büyük bir muamma. Yine de evrenin nasıl evrileceğine ve nasıl sonlanacağına dair birçok kuramsal olasılık mevcut.

GİRİŞ

Bir gün, bundan yaklaşık 14 milyar yıl önce, fevkalade bir şey oldu.

Evrenimiz doğdu.

Bugün, etrafınızda gördüğünüz her şey, bu kitap, soluduğunuz hava, vücudunuzun biyolojik içeriği, Güneş'ten ve uzak yıldızlardan gelen ışık dahil her şeyi oluşturan madde ve enerji, tek bir yaratılış ânında doğdu. Bugün bu malzeme gerçekten devasa bir evrene yayılmış durumda. Her ne kadar evrenin büyüklüğünü bilmesek de görebildiğimiz kısmı 92 milyar ışık yılı (1 ışık yılı, ışığın bir yılda katettiği yoldur; 1 milyar = 1000 milyon) genişliktedir. Görebildiğimiz en uzak cisim olan ve gökada adı verilen çok uzak bir yıldız topluluğundan gelen ışık, yolculuğuna 13,4 milyar yıl önce başlamıştı. Bu kadar milyar yıl önce ne Güneş ne de Güneş sistemimiz oluşmuştu.

Bulutsuz bir gecede gökyüzüne baktığınızda bunca şeyin nereden geldiğini, evrendeki tüm maddenin kendini nasıl da yıldızlarla dolu gökadalar şeklinde organize ettiğini, uzayın sonsuzluğunun nerede bittiğini ve evrenimizin daha ne kadar var olmaya devam edeceğini merak ediyor olabilirsiniz.

Bu sorular, kayıtlı tarihin başlangıcından beri en büyük âlimlerin kafasını kurcalamıştır. Artık bunlara dair birçok cevaba sahibiz ve bu da en az cevapların kendisi kadar önemli bir gerçek.

Evrene dair inançlarımız bin yıl boyunca din ve yaratıcı kavramına dayanırken, daha bilimsel alternatiflerle buna meydan

okumaya cesaret edenlerin canına okunuyordu. Evrene dair ilk seküler görüşler de kusursuz değildi. Örneğin antik Yunan filozofları Dünya'yı, Güneş'in, gezegenlerin ve uzak yıldızların etrafında döndüğü bir evrenin merkezine oturtmuşlardı. 17. yüzyılda teleskobun icadıyla, evren kuramlarını karşıt kanıtlarla sınayabilecek gökyüzü gözlemleri birikmeye başladı. Böylelikle, evreni büyük ölçeklerde çalışan bir bilim dalı olan kozmoloji, niceliksel bir hal aldı.

Teleskoplarla yapılan uzay ölçümleri, kozmolojik kuramların öngördüğü aralığı tüketmeye başladı. Öyle ki, gözlemlerle uyuşmayan kuramlar derhal çöpe atılıyordu. Özellikle 1920'lerde astronomlar uzayın genişlediğini keşfettiler. Böylelikle kabul edilebilir ana akım teorilerin sayısı ikiye indi. Bunlardan biri evrenin aşırı sıcak ve aşırı yoğun bir evrede başladığını öne sürerken, diğeri ezelden beri var olduğunu iddia ediyordu. Bu iki olasılık arasındaki yarış yıllarca devam etti fakat nihayetinde, 1960'larda yapılan gözlemler gösterdi ki evren gerçekten de geçmişte daha sıcak ve daha yoğundu.

Bu da kainatın ezelden beri var olmadığı, Büyük Patlama adıyla bilinen, büyük ve kargaşalı bir olay sonucu oluştuğu anlamına geliyordu.

Birdenbire, ortada hiçbir şey yokken (ne madde, ne enerji, ne uzay ne de bizim bildiğimiz zaman mevcutken) evren vahşi bir patlamayla var oldu. Büyük Patlama kuramının gelişimini etkileyecek olan Belçikalı evrenbilimci ve katolik rahip George Lemaître, daha sonraları zamanın başlangıcı kabul edilen Büyük Patlama'dan "dünü olmayan gün" diye şairane bir şekilde bahsedecekti.

Büyük Patlama; madde, enerji, uzay ve zamanın iç içe geçtiği bir düğüm, sıcak ve yoğun bir ateş topu olarak başladı. Neden ve nasıl ortaya çıktığı ise bir muamma. Birçok fizikçi, cevabın atomaltı parçacıkların mikroskobik dünyasında ve bunlar arasındaki etkileşimler ağını şekillendiren karmaşık kuantum fiziğinde yattı-

ğına inanıyor. Bu düzende, parçacıkların kuantum diyarında belirip kısa bir süre sonra yeniden yok olarak, bir var bir yok oldukları biliniyor. Büyük Patlama sırasında evrenimiz çok küçük ve yoğun olduğu için, bir dereceye kadar kuantum yasalarıyla yönetilmiş olmalı, bu da hemen hemen aynı şekilde patladığını varsaymayı makul kılıyor.

Peki ya sonra? Hiç yoktan yaratılan çoğu kuantum parçacığı bir süre sonra yeniden öylece yok olur. Ve bankadan ne kadar çok enerji ve madde ödünç alırsanız borcu o kadar kısa vadede ödemeniz gerekir; yani büyük parçacıklar kısa zamanda yok olurken küçük parçacıklar var olmaya biraz daha uzun süre devam edebilir. Ama bugünkü evren devasa büyüklükte, milyarlarca yıl yaşında ve henüz hiçbir yere kaybolacakmış gibi de durmuyor. İnanmak güç ama bunun nedeni, her ne kadar varmış gibi görünse de, evrendeki toplam kütlenin gerçekten sıfır olması. Bu da kütleçekimsel alanların enerji taşımasından kaynaklanıyor. Kütleçekimsel enerji aslında negatiftir ve bazı kozmolojik modellerde evrenin içeriğiyle taban tabana zıt ve birebir eşit olduğu için birbirlerini yok ederler. Eğer durum böyleyse kuantum bankasındaki kredimiz oldukça iyi olmalı ve evren de epeyce uzun bir zaman boyunca özgürce var olabilecek demektir.

Farklı formlardaki madde ve enerjinin birbiriyle nasıl etkileşime girdiğini yöneten fizik kanunları, Büyük Patlama'nın ilk zamanlarındaki kaotik girdaptan doğmuştur. Bu ne kadar şaşırtıcı olsa da kesinlikle doğrudur. Dahası, süreç tamamıyla gelişigüzeldir; yenilenecek olursa muhtemelen bambaşka bir dizi kanun oluşacaktır. Az sonra göreceğimiz üzere, farklı fiziksel kanunların hüküm sürdüğü paralel evrenler pekâlâ mevcut olabilir. Bu kanunlar kainatın hammaddelerini, yani bugün etrafınızda gördüğünüz her şeyin yapıtaşları olan ilk elementleri oluşturacak şekilde hizaya dizmiştir. Minik atomaltı parçacıklar güçlü kuantum kuvvetlerle tutturularak en basit kimyasal element olan hidrojenin

ilk atom çekirdeğini oluşturdu. Bunlar da daha sonra, bir sonraki element olan helyumu oluşturmak üzere bir araya geldiler.

Uzay genişleyip soğudukça maddeyi oluşturan atomlar ve moleküller kütleçekimi altında topaklanarak astronomların bugün teleskoplarıyla bakıp da hayran kaldıkları gökadaları, yıldızları ve nihayetinde gezegenleri oluşturdular. Aslında ilk gökadalar, evrenin doğumundan beri olağanüstü hızlarla genişlemesine neden olan Büyük Patlama'nın ısısı içinde gömülü tohumlardan filizlendiler. Aynı kuantum parçacıklarının bir var olup bir kaybolarak gerçekliğe girip çıkışının neden olduğu madde yoğunluğundaki ufak değişimler, bu hızlı genişlemeyle gökada boyutuna kadar patladı. Ve geri kalanı kütleçekim halletti; daha fazla maddeyi bir araya getirerek çok geçmeden bu kozmik tohumlardan görkemli gökadalar ortaya çıkmıştı!

Her biri yüz milyarlarca yıldıza ev sahipliği yapan ve uzayın karanlık boşluğunda ilerleyen kozmik adalara benzeyen gökadalar çarpıcı bir görünüme sahiptir. Fakat aslında gökadaların görebildiğimiz kısmı kozmik buzdağının yalnızca tepesidir. Bugüne dek teleskoplarla gözlemleyebildiğimiz tüm parlak, ışıldayan maddenin beş katı kadar da görünmez ya da daha doğru bir deyişle *karanlık madde* vardır. Bu karanlık maddenin var olduğunu bilmemizi sağlayan şey, gökadaların hareketinin içeriğindeki parlak şeyin (yani görebildiğimiz kadarıyla yıldızlar ve parıldayan gaz bulutlarının) kütleçekimiyle uyum içinde olmayışıdır. Ne var ki henüz hiç kimse bunun ne olduğunu bilmiyor.

Gökadaların çapı genellikle on binlerce ışık yılı ile yüz binlerce ışık yılı aralığında değişir. Işığın bir yılda katettiği mesafe olan ışık yılı, 9.500.000.000.000 kilometreden biraz azdır. Sosyal varlıklar olan gökadalar, her biri 100 ila 1000 gökada içeren, küme dediğimiz gruplar oluştururlar ve onlarca milyon ışık yılı genişliğinde olabilirler. Gökadalar yalnız takılmayı sevmez, aksine kimi 10'a yakın kümenin bir araya gelerek oluşturduğu, binlerce

milyon ışık yılına varan süper kümelerde bulunurlar.

Ancak bu yine de çok daha geniş olan evrenle kıyaslandığında ufak bir lokma sayılır. Gökyüzünün bir ucundan diğerine, en güçlü teleskoplarla görebildiğimiz uzayın en uzak noktası olarak tanımlanan gözlemlenebilir evrenimiz, oluştuğu ilk anlardan itibaren genişlemeye devam etmiştir. Yaşamı başlatan, en ufak atomaltı parçacıktan da küçük olan şey, şimdi akıl almaz ölçüde geniş ve yüz milyarlarca gökadaya ev sahipliği yapıyor. Sönük ve uzak geçmişteki halleriyle gördüğümüz bu en uzaktaki gökadalardan çıkan ışığın bize ulaşması milyarlarca yıl sürerken diğer gökadalar o kadar uzakta ki onların ışığı henüz bize ulaşmadı bile. Gözlemlenebilir evren, dudak uçuklatacak şekilde 92 milyar ışık yılı genişliğinde. Ve her geçen gün daha da büyüyor. Evrenin daha da uzak bölgelerinden gelen ışık ilk defa Dünya'ya ulaşıyor ve böylece o bölgeler de kadraja girmiş oluyor. Böylelikle kozmik geçmişe bakabilme yetisi, evrenin geniş ölçekteki davranışlarını inceleyen bilim insanları olan kozmologlara, Büyük Patlama'nın yakıcı sıcaklıkları ve ezici basıncının, bugün gözlediğimiz ve içinde yaşadığımız, görece kontrol altındaki ve sakin evrene nasıl dönüştüğüne dair en temel öngörüleri sunuyor.

Ayrıca kütleçekim hakkında bugün bildiklerimize bakılırsa evrenimizin tam da olması gerektiği gibi olmadığı görülmektedir. Kozmik zamanda geriye bakmak, astronomların evrenin genişleme oranının nasıl evrildiğini grafiğe dökebilmiş olmaları anlamına geliyor. 1990'ların sonlarında astronomlar, bunu evrendeki en uzak, yani en yaşlı gökadalar için yaptıklarında kozmik genişlemenin hızlandığını buldular. Bu çok büyük bir şoktu. Bir topu havaya attığınızda Dünya'nın kütleçekimi nedeniyle top geri düşer. Benzer şekilde, fizikçiler evrenin kütleçekiminin de kendi kendini geri çekmesini bekliyordu, gittikçe artan hızlarla daha da uzaklaşmasını değil. Bu bariz anormalliğin nedeninin, evreni dolduran en baskın şey, yani karanlık madde değil; *karanlık enerji* olarak

bilinen ve çekimi aslında "itici" olan daha büyük bir şey olduğu kısa zamanda ortaya çıktı. Aslında karanlık enerjinin varlığını ilk defa öne süren kişi, her ne kadar ona farklı bir isim vermiş olsa da, Alman fizikçi ve görelilik kuramının babası Albert Einstein'dı. Henüz astronomlar evrenin genişlediğini keşfetmemişken, Einstein evrenin durağan ve değişmez olması gerektiğine inanıyordu ve bu nedenle de, her ne kadar daha sonra kütleçekim kuramı olarak anacak olsak da, *Genel Görelilik Kuramı*'nda kütleçekiminin aksine evrenin çok büyük mesafelerde sabit olmasını sağlayan bir itici güç tanımlamıştı. Ancak 1920'lerin sonunda astronomlar evrenin gerçekten de genişlemekte olduğunu keşfettiğinde bu fikri gülünç bulunan Einstein onu gözden çıkarmaya mecbur bırakıldı.

Evrenin kökenini, evrimini ve içindeki yerimizi anlayabildiğimiz gerçeği aslında insan zekasına bir övgüdür. Dikkatle yapılandırılan kuramları formüle eden, test eden ve onları yeniden gözlemleyen bilimsel metodoloji sayesinde kozmologlar, evrenin oluşumundan sonraki ilk anlara kadar tüm geçmişi anlayabildi.

Şimdi biliyoruz ki evren kabaca 13,8 milyar (13.800.000.000) yıl yaşında. Dikkatli okurlar, evren 13,8 milyar yaşında ise nasıl oluyor da bizim gördüğümüz, gözlemlenebilir evren, 92 milyar ışık yılı çapında diye merak ediyor olabilir. Bir diğer deyişle, bugüne dek ancak 13,8 milyar yıl geçmişken nasıl 46 milyar ışık yılı ötedeki cisimlerden gelen ışığı görebiliyoruz? Söz veriyorum, buna daha sonra değineceğimize emin olabilirsiniz!

Nereden bakarsanız bakın 13,8 milyar yıl gerçekten de çok uzun bir süre. Kıyaslamak gerekirse Güneş ve Güneş sistemi yaklaşık 4,6 milyar yıl önce oluştu, Dünya'da yaşam 4 milyar yıl önce ortaya çıktı, gezegenimizdeki ilk çok hücreli organizmalar 1,7 milyar yıl önce ve modern hayvanlar 550 milyon (ya da 0,55 milyar) yıl önceydi; ilk modern insanlarsa (homo sapiens türü) 200.000 yıl öncesine kadar gezegende dolaşmıyordu, yani 0,0002 milyar yıl öncesi ya da kabaca evrenin yaşının yüz binde biri civarında

bir süreden bahsediyoruz. Bir diğer deyişle, eğer evrenin geçmişi bir yıla sıkıştırılacak olsa; Büyük Patlama'yı 1 Ocak gece yarısından hemen sonra gerçekleşmiş, içinde bulunduğumuz günü de 31 Aralık kabul edersek, insanlar yılın bitmesine ancak sekiz dakika kala ortaya çıkmış olurdu. Bu da modern bilime dair her şeyin son 1,4 saniyede gerçekleşmesi demek oluyor. Günlük deneyimlerimize dayanarak aşina olduğumuz tüm zaman ölçekleri, kainatımızın devasa yaşının yanında tamamıyla mini minnacık kalıyor.

Üstelik, her ne kadar içeriğini tam olarak anlamasak da evrenimizde ne kadar madde olduğunu da biliyoruz. Ve evrenin doğduğu ilk anlar haricinde evrende hüküm süren kanunların nasıl işlediğini de biliyoruz. Ne var ki, daha sonra göreceğimiz gibi, Büyük Patlama'ya neyin neden olduğu ve öncesinde ne olmuş olabileceği gibi Büyük Patlama'ya dair fizik kuralları tartışmaya hâlâ oldukça açık. Fakat gezegenimiz Dünya'nın, kainatın gayet sıradan bir köşesinde, sıradan bir gökadada, sıradan bir yıldızın etrafında dolandığını biliyoruz.

Karanlık enerji meselesindeki tökezlemesi bir yana, modern kozmoloji için gerekli temellerin büyük kısmını Albert Einstein atmıştı. Şaheseri olan genel görelilik teorisi, konunun üzerine inşa edildiği çerçeveyi oluşturuyor. Einstein, bugün evreni anlayabildiğimiz için teşekkür etmemiz gereken öncülerden biridir. Yirminci yüzyılın başlarındaki görelilik teorisi, Sir Isaac Newton'ın 250 yıl önceki fikirlerinden ortaya çıkmıştı. 1927'de Georges Lemaître, evrenin ilk matematiksel modelini kurmak için genel göreliliği kullandı. Daha sonra Profesör Stephen Hawking gibi ileri görüşlü bilim insanları bu modelleri alıp, örneğin evrenin hiçlikten nasıl var olmuş olabileceği ve evrenin ilk zamanlarındaki hızlı genişlemenin nasıl olup da gökadaların oluşumunun tohumlarını atmış olabileceği gibi detaylı ve cesur yeni çıkarımlar yapmak için kullanarak sınırları zorladılar.

Kozmologların icat ettiği çılgın fikirlerin test edilebileceği ve-

rileri bir araya getiren kişiler olan harika astronomları da takdir etmek gerekir: Samanyolu gökadamızın dışındaki cisimleri ilk defa kataloglayan Charles Messier, evrenin genişlemesini keşfeden Edwin Hubble ve asistanı Milton Humason, Büyük Patlama'nın sıcak alevlerinin yankısı olan, bugün bile uzayda hâlâ yankılanan ve Büyük Patlama'yı rakiplerine karşı haklı çıkaran temel ilkelerden biri olan *kozmik mikrodalga arka plan (ardalan) ışıması*nı[1] ilk kez algılayan iki radyo astronom Arno Penzias ve Robert Wilson. Son yıllarda astronomların bireysel katkılarının yerini, genellikle birden fazla teleskop, hatta bolca yüksek kalitede veri elde edebilmek için amaca özel üretilmiş uzay araçları kullanan büyük uluslararası işbirlikleri aldı. İşte böylece kozmik mikrodalga arka planın içinde saklı kalmış detaylar ortaya çıkarılarak evrenin modern resminin ince ayarı için kullanıldı.

Evrenin geçmişine dair çalışmaların, geleceğine dair spekülasyonlara yol açması kaçınılmazdı. Ve eğer kozmologların en iyi kuramlarına inanılacak olursa, hiç de sonsuzluğa erecek gibi durmuyoruz, en azından bildiğimiz kadarıyla.

Nihai akıbetimiz için çekişen iki ana rakip var. İlki, kütleçekiminin yavaşça duracağını ve sonra da kozmik genişlemeyi tersine çevirerek Büyük Patlama'nın belalı bir antitezi olan Büyük Çöküş'e yol açacağını iddia ediyor. Bunun gerçekleşmesi için, evrenin kütleçekiminin sadece uzayın genişlemesini değil, aynı zamanda karanlık enerji tarafından üretilen itimi de alt edebilecek kadar güçlü olması gerekiyor. Eğer evren Büyük Çöküş'le sonlanırsa tüm madde yok olur ve evren sönükleşerek yok olmak yerine tamamıyla yanarak tükenir.

Diğer olasılık ise tam tersine, evrenin sahneden daha kibarca çekileceğini öngörüyor. Isısal Ölüm olarak bilinen bu senaryoda evren, genişlemesini durduracak kadar kütleçekime sahip değil

1 Cosmic microwave background radiation. (ç.n.)

ve uzay sonsuza dek genişlemeye devam ediyor. İlk bakışta bu iyi bir haber gibi gelebilir. Peki nihayetinde tüm yıldızların yakıtı bitip öldüklerinde ne olacak? Bizi Büyük Çöküş'ün kıyametinden koruyan kozmik genişleme, gün gelip de galaksilerin ışık hızından da hızlı bir şekilde uzaklaşıp sonunda gözden kaybolmalarına neden olacak kadar yüksek bir hızla uzayı genişletirse, gökyüzü tamamen karanlık ve bomboş olur. Geriye kalan maddenin zamanla karadeliklere çekilmesi ve ordan da hiçliğe gitmesiyle evren mürekkep karası bir uykuya kayar gider.

Bu temaların çeşitleri mevcut. Örneğin kimi kozmologlar evrenin Büyük Çöküş'ten geri sekip yeni bir genişleme evresine geçip geçemeyeceğini veya bu halihazırda gerçekleşmişse bugün gökyüzüne baktığımızda gördüklerimizin ebedi bir genişleme ve büzülme döngüsünün bir evresi olup olmadığını merak ediyor. Aynı şekilde, bazıları da Isısal Ölüm'ün öngörülenden daha aşırı bir hal alıp almayacağını merak ediyor. Gerçekten de eğer karanlık enerji *hayalet enerji*[1] olarak bildiğimiz şekli aldıysa, evrenin genişleme oranı gelecekte o kadar hızlanır ki yıldızları ve gezegenleri birbirinden ayırmakla kalmaz, nihayetinde atomları ve molekülleri ve en sonunda uzayın dokusunu bile parçalar. Diğer fizikçiler ise evrenimizin her biri birbirine benzeyen ama bizimkinden ufak farklılıkları olan birçok paralel evrenden yalnızca biri olup olmadığını merak ediyor. Evrenimizin parçalanması olasılığı göz önüne alındığında bu pek avuntu olmayabilir ama eğer çoklu evrenler gerçekten mevcutsa en azından bildiğimiz gerçekliğin bir yanı yaşamaya devam edecek demektir.

Bu kitap, evrenimizin Büyük Patlama kuramının doğumundan ölümüne kadarki hikâyesini anlatıyor. Hikâyenin bazı kısımlarına aşina olabilirsiniz. Örneğin evrenin bir başlangıcının olması veya uzayın genişlemesi ya da engin kozmik okyanustaki birçok ufak

1 Phantom energy. (ç.n.)

evren adacığından biri gibi düşünebileceğimiz ve Samanyolu adı verilen yıldızlarla dolu bir gökadada yerleşik olduğumuz gibi. Ancak o ilk birkaç anda gerçekten de ne olduğunu ve nedenlerini anlayabilmek için dikkatli bir inceleme gerekir. Hikâyenin her bir parçası birbiriyle o kadar içli dışlı ki hem bugünümüzü hem de olası geleceğimizi anlayabilmek için yolun tamamını katetmemiz gerekiyor. Uzay ve zamanın dört değil yirmi altı boyutlu olabileceğini, Büyük Patlama'nın evrenimizin bir diğer evrenle çarpışmasıyla oluşmuş olabileceğini okuyacağız. Üstelik kozmik geçmişimizin detayları ve geleceğine dair ipuçları şu anda uzay-zaman dokusunun ta kendisinde, uzayın içinde dalgalanarak sürükleniyor.

Yolculuğumuz boyunca harika manzaralara tanıklık edeceğiz; dehşete düşüren gizemlerle mücadele edecek ve şimdiye kadarki en parlak zekâların bazılarının inanılmaz bilimsel adanmışlık hikâyelerini anlatacağız.

Hayal edilebilecek en inanılmaz seyahatlerden birine çıkacağız; evrenin hikâyesini zamanın başlangıcından, bugünden milyarlarca yıl sonraki nihai ölümüne kadar takip edeceğiz; kelimenin gerçek anlamıyla her şeyin başlangıcı ve sonunu göreceğiz.

BİRİNCİ BÖLÜM

Evrendeki Yerimiz

"İmkânsız bir evrenin imkânsızlıklarından biriyiz."

Ray Bradbury

Bilim, dünyayı anlamamıza yarayan bir araç halini almadan önce, ilk kozmolojik kuramlar büyük ölçüde dini görüşlere göre şekillenmişti. Yaklaşık 3200 yıl önce, günümüzde Irak, Kuveyt ve Suudi Arabistan'a karşılık gelen topraklarda yaşayan Mezopotamyalılar, tanrı Marduk'un ilkel ana olan Tiamat'ın gövdesini ikiye bölerek bir yarısıyla gezegenimizi, diğer yarısıyla da gökyüzünü oluşturduğuna inanıyorlardı.

Antik Çin'de ise evrenimizin kaotik, biçimsiz bir bulut olarak başlayıp on binlerce yıl içinde yavaşça kozmik bir yumurta halini aldığına ve ilk canlı olan Pangu'nun da bunun içinden çıktığına inanılıyordu. Pangu, Dünya'yı ve gökyüzünü şekillendirdikten sonraki 18.000 yılı, yeri ve göğü birbirinden ayırmak için harcamıştı. Pangu öldüğünde ise kalıntıları evreni oluşturdu; sol gözü Güneş, sağ gözü Ay, saçları da yıldızlar haline geldi.

Bazı dini evren kuramları günümüzün bilimsel fikirleriyle uyuşmaktadır. Örneğin Budistler, 1960'ların sonlarında Büyük Patlama modeli kendisine rakip olarak ortaya çıkana kadar ciddi bir görüş olan Durağan Hal kuramını anımsatacak şekilde, evrenin sonsuz olduğuna, bir başı veya sonu olmadığına inanırlar. Hin-

dular, evrenin art arda genişleme ve büzülme evrelerinden geçtiği modern kuramlara benzer çevrimsel bir kozmolojiden yanayken Budizm her şeye kadir bir yaratıcı içermeyen evren fikriyle dinler arasında muhtemelen eşsiz bir yere sahiptir.

İlk dinlerin çoğu, özellikle Mısır, antik Roma ve Kuzey Amerika dinleri, Güneş'i tapınılacak bir olgu haline getirmiş, idolleştirmiştir. Britanya'da tarihçiler Stonehenge'deki megalitik anıtın, paganlar tarafından kış ve yaz gündönümlerini hesaplamak için ilkel bir astronomik gözlemevi olarak kullanılmış olabileceğine inanırlar.

Rönesansla birlikte doğal dünyaya dair anlayışımızın da gelişmesi nedeniyle bilim, çoğu dini görüşe meydan okur hale geldi ve bu da bilimle din arasında genellikle problemli bir ilişki kurulmasına neden oldu. Kimi bilim insanları görüşleri nedeniyle cezalandırıldı. Kimileri ise daha kurnaz davrandı ve çalışmaları ancak onlar öldükten sonra yayımlanabildi. Bazıları da dini görüşlerini açıkça ortaya koydu. Örneğin İngiliz Fizikçi Isaac Newton, kendi yararına olan güçlü dini görüşlere tutunurken radikal fikirlerini ulu orta söylemeyecek kadar da kurnaz bir adamdı.

Koyu ateistler, dinin bilimi zedelediği konusunda ısrarcı olurken diğerleri de bu ikisinin bir arada var olabileceğine inanmaktaydı; bu zorlu birliktelik, günümüze kadar da uzanmıştır. Muhtemelen bunların en bilineni, Charles Darwin'in türlerin nasıl geliştiği ve çevrelerine nasıl adapte olduklarına dair teorisi olan ve doğal seçilimi temel alan evrim yanlıları ile, yerin ve göğün üstün bir varlık tarafından oluşturulduğunu söyleyen fikrin modern adı olan yaratılışçılığa inananlar arasındakidir. Yaratılışçılık; Hıristiyanlık, İslam ve Yahudiliğin de içinde olduğu kimi dinlerin bazı takipçilerinin günümüzde de bağlı kaldığı bir görüştür. Örneğin Tevrat'ın ilk kitabı olan Yaratılış'ta, Tanrı'nın evreni ve her şeyi altı günde yarattığı söylenir. Yaratılışçılar bunun aksini gösteren tüm delilleri inkâr ederler: Örneğin "Genç Dünya yaratılışçıları",

evrenin sadece 10.000 yıl önce oluştuğuna inanırlar ancak zaten görmüş olduğumuz ve daha sonra da tartışacağımız gibi, astronomik kanıtların evrenin milyarlarca yıl önce doğduğunu göstermesinden bile önce, Dünya'nın bundan daha yaşlı olduğuna dair bariz kanıtlar mevcuttu; kayalar, buz çekirdekler ve hatta yaşayan en eski ağaçlar gibi.

Bilimle din arasındaki en temel fark budur. Dini ifadeler inanca dayanırken bilimsel kuramlar somut kanıtlarla ortaya konmak zorundadır. İster günlük deneylerle bile ortaya konabilecek kadar basit cinsten olsun, ister jeologların topladığı kanıtlardan ya da astronomların uzak galaksileri gözlemlerinden veya milyar dolarlık parçacık hızlandırıcıların gerçekliğin dokusundan aldıkları deneysel verilerden damıtılmış olsun, bilimde en önemli şey gerçeklerdir. Bilimsel kuramlar, dünyayı mantıklı ve sistemli bir şekilde, gerek mevcut ve gelecek gözlemlerle, gerekse bir deneyin tasarlanıp uygulanmasıyla elde edilen gözlemlerle, en önemlisi de öngörüleri gerçeklere kıyasla somut ve hızlıca test edilebilecek şekilde açıklama çabalarıdır. Bazen gerçekler rahatsız edici, beklenmedik veya önyargılarımızı zorlayıcı olabilir. Bu, bilimde sadece bir zorluktur. Eğer gerçekler kuramla çelişirse teori çöpe gider ve bilim insanları gözlerini yeniden tahtaya ya da daha büyük bir olasılıkla tabletlerine ve bilgisayarlarına çevirirler.

Bir kuramın reddedilmesi facia demek değildir. Hatta iyi bir şeydir. Bilim gerçekten de bu şekilde ilerler. Örneğin Dünya'nın düz değil küresel olduğunu, Güneş'in gezegenler etrafında değil gezegenlerin Güneş etrafında dolandığını ve Dünya'nın yaşının kesinlikle sadece 10.000 yıl değil, en güvenilir tahminlere göre 4,543 milyar yıl civarında olduğunu da bu sayede biliyoruz. Bir kuramın yanlışlığını kanıtlayan bir gözlem yapmak, bir bilim insanının yapabileceği en kuvvetli şeylerden biridir. Tabii bu çürütülen kuram, bilim insanının kendi kuramıysa aynı zamanda en acı verici şeylerden de biri oluyor.

Bildiğimiz ilk bilim insanı, Yunan filozof Miletli Thales, MÖ altıncı ve yedinci yüzyıllarda yaşamıştır. Thales, yerin ve göğün gizemli ve muğlak tanrılar tarafından yaratılmış olduğu algısından sakınan ilk insandı, en azından tarihi kayıtlar böyle söylüyor. Bunun yerine gerçek dünyada gözlemlenebilir nedenlerle sonuçlar arasında bağlantı kurmayı denedi. Başarıları arasında piramitlerin boyutlarını hesaplamada ve gemilerin konumlarını nirengilemede kullanılan geometrik teknikler bulunmaktaydı. MÖ 585 yılındaki bir Güneş tutulmasını doğru bir şekilde öngörebildiği gibi hava durumu tahminleri için bilimsel bilgiler kullandığı da söylenmektedir.



Alman Astronom Peter Apian'ın *Cosmographia* adlı 1539 basımı kitabından, gök kürelerinin Yunan kuramına göre çizimi.

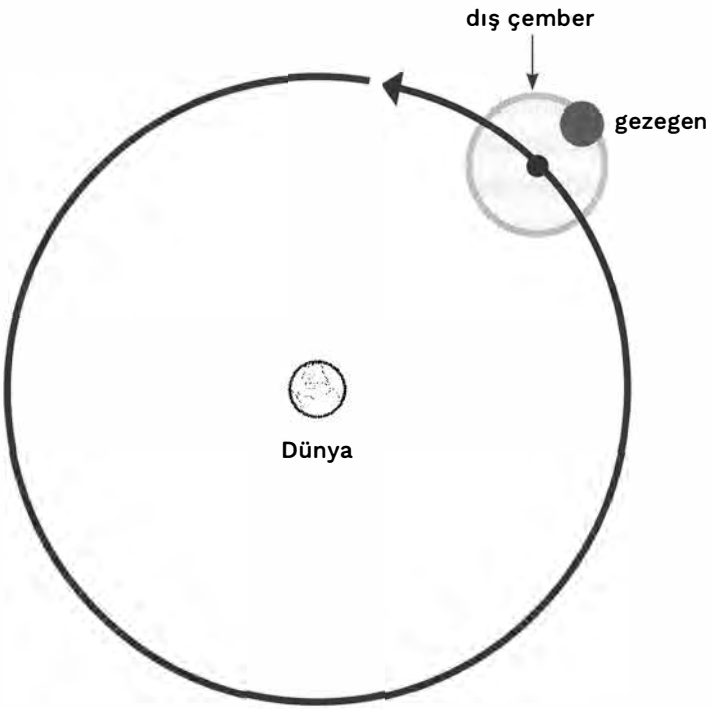
Thales'in çığır açan yeteneklerine rağmen antik Yunan'da hüküm süren kozmolojik görüş, Güneş, Ay ve gezegenlerin her birinin iç içe geçtiği ve merkezinde Dünya'nın bulunduğu ortak merkezli gök kürelerinin olduğu şeklindeydi. Her bir kürenin Dünya etrafında kendine özgü dönme hareketi, ilişkili olduğu gökcisminin gözlenen hareketiyle belirlenmişti. En dıştaki küre uzak yıldızları barındırıyordu ve geceleyin gökyüzünde yıldızların doğup batışını açıklayacak şekilde dönüyordu.

Bu kuramın mümkün olan her şekilde yanlış olduğunu artık biliyoruz. Modern gözlemler Güneş sisteminin merkezinde Güneş'in yer aldığını, Dünya ve diğer gezegenlerin onun etrafında dolandığını gösteriyor. Uzaktaki yıldızlar Güneş ve beraberindeki gezegenlerden bağımsız bir şekilde hareket ederken Ay'ımız da Dünya etrafında dolanıyor.

Yunanların, gökcisimlerinin küreler kuramının dikte ettiği şekilde davranmadıklarına dair kanıtları olması ilginçtir. Gezegenlerin farklı yörünge hızlarına sahip olması, Dünya'dan bakıldığında, kiminin hızlanmış kiminin de yavaşlamış ve hatta bazen geri gidiyormuş gibi görünebileceği anlamına gelmektedir. Bu geri gidiş veya *tersinir hareket*[1] Yunanların gezegenlerin Dünya etrafında düzgün dairesel yörüngeler çizdiği görüşüne oldukça ters düşmekteydi. Yunan bir astronom olan Samoslu Aristarchus bu bağlantıyı kurup Güneş'in gezegenler etrafında değil, gezegenlerin Güneş etrafında döndüğünü öne sürdü. Aristarchus'un çalışmasının aslı kaybolmuş olsa da bu kuram Archimedes'in *Kum Sayacı*[2] adlı kitabıyla kayıtlara geçmiştir.

Ne yazık ki Aristarchus'un kuramı kayıplara karışırken gezegenlerin tersinir hareketi de yanlış yorumlanmaya mahkûm olmuş. Yunan filozof Batlamyus bu durumu, gezegenlerin kendi

1 Retrograde. (ç.n.)
2 *The Sand Reckoner.* (ç.n.)



Batlamyus gezegenlerin tersinir hareketini açıklayabilmek için Yunan gök küreleri kuramında Dünya etrafındaki yörüngelere dış çemberleri eklemişti.

kürelerinde sabit noktalara çakılı olmak yerine bunların etrafında, *dış çemberler*[1] olarak bilinen ufak yörüngelerde bulunduklarını öne sürerek yine gök küreler kuramı içinde açıklamaya çalışmış. Dış çember, gezegeni küresiyle aynı yöne taşıdığında gezegen hızlanır gibi görünürken, ters yöne taşıdığında da gezegen yavaşlıyor veya tersinir hareketini yapıyor gibi görünüyordu.

Dış çemberler fikri, halihazırda yanlış bir kurama yapılabilecek harika bir yama olabilirdi en fazla ama buna rağmen gök küreleri modelinin Rönesans başlangıcına kadar ayakta kalmasını

1 Epicycles. (ç.n.)

sağlamaya yeterli olmuştu. Bariz olanı, yani gezegenlerin Dünya yerine Güneş etrafında dolanması halinde gözlenen hareketlerinin çok daha doğal bir şekilde açıklanabileceğini, on altıncı yüzyılın başlarında Polonyalı Astronom Nicolaus Copernicus (Kopernik) fark etti. Güneş merkezli bu bakış, astronomide ve doğal olarak bilimin genelinde bir dönüm noktası teşkil etti.

Copernicus'un kuramın ilk taslaklarını 1514 yılı civarında yakın çevresiyle paylaştığına inanılıyor. Bu kuram, Copernicus'un 1530'ların başlarında tamamladığı ama Katolik kilisesi tarafından yerleşik inançlara karşı çıkma iddiasıyla cezalandırılmaktan korktuğu için, öldüğü yıl olan 1543'e kadar yayımlamaya cesaret edemeyeceği *Gök Kürelerin Devinimleri Üzerine*[1] adlı kitabının temel direği olacaktı.

Doğru yönde atılmış devasa bir adım olmasına rağmen Copernicus'un Güneş merkezli kuramı, hâlâ Güneş'in evrenin merkezinde olduğunu öne sürüyordu. 1576'da İngiliz astronom ve matematikçi Thomas Digges evrenin aslında sonsuz olduğu, yıldızların da Güneş'imize oldukça benzer cisimler oldukları ve evren boyunca düzenli bir dağılım sergiledikleri görüşünü cesurca ortaya koydu. 1572 yılında gözlediği bir *süpernova* (aşırı kütleli bir yıldızın vahşi bir patlamayla ölümü), onu yıldızların doğasını yeniden düşünmeye teşvik etmişti. Bu olay, uzaktaki yıldızları sabit ve değişmez kabul eden kürelerin Yunan yorumuyla bariz bir zıtlaşma içerisindeydi.

Digges'in yıldızların Dünya'dan değişik uzaklıklarda yer aldıkları önerisi, on yedinci yüzyılın başlarında İtalyan Filozof Galileo Galilei tarafından daha da fazla ciddiye alınacaktı. Galileo yaşamı boyunca matematik, fizik, mühendislik ve astronomi alanlarına çığır açan katkılarda bulundu. 1609 yılında bir grup Hollandalı mercek yapımcısının, önceki sene bir çift cam mercek kullanarak

1 *De revolutionibus orbium coelestium.* (ç.n.)

uzaktaki bir cismin görüntüsünü büyüten bir araç olan mercekli teleskobu keşfettiklerinden haberdar oldu. Meraklanan ve bunun astronomiye olası katkılarını derhal fark eden Galileo kendi versiyonunu yapmaya koyuldu. İlk teleskobu sadece 3 kat büyütebiliyordu ama bu onun görüşünü değiştirmek için yeterliydi, tabii ki insanlığın gökyüzünü anlayışını da...

Digges'in yıldızların uzayda dağılmış olduklarına dair ilk önerisinden sadece yarım asır sonra Galileo teleskopla baktığında çıplak gözle görebildiğinden çok daha fazla yıldız olduğunu keşfetmişti. Her ne kadar bu yeni gördüğü yıldızların bir kısmı doğaları gereği daha sönük olsalar da sayılarına bakılırsa bazıları da uzakta oldukları için daha sönük görünüyor olmalıydı. Bir diğer deyişle, gök küreleri kuramının gerektirdiği gibi yıldızların hepsi bizden aynı uzaklıkta değildi.

Galileo henüz işini bitirmiş değildi. Ertesi yıl teleskobunu Venüs'e çevirdi ve tıpkı Ay'da gördüğümüz dolunay, yeniay, ilk dördün, son dördün gibi onun da evreleri olduğunu keşfetti. Ay'ın evreleri Dünya etrafında bir ay süren yörüngesi boyunca, Güneş'in farklı doğrultularda aydınlatmasına maruz kalmasından kaynaklanıyordu. Gök küreleri kuramına göre Venüs her zaman Dünya ile Güneş arasında kalmalıydı, bu da onu ancak yeniay ve hilal evrelerinde gözleyebileceğimiz anlamına geliyordu. Ne var ki Galileo, gezegenlerin Güneş etrafında döndüğünü destekleyecek şekilde, Venüs'ün tüm evreleri gösterdiğini görmüştü.

Galileo bu bulgularını 1632 yılında yayımladığı *İki Büyük Dünya Sistemi Hakkında Diyalog*[1] adlı kitabında derledi. Bu kitapta Copernicus'un Güneş merkezli kuramına ilişkin kendi görüşlerini açıkça belirtmişti ve bu da Copernicus'un kuramını ölene dek neden yayımlamadığını ortaya koyarcasına, nihayetinde Galileo'nun sonunu getirecekti. 1633 yılında Katolik Engizisyon Mahkemesi

1 *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo.* (ç.n.)

tarafından dinden sapma suçuyla yargılandı ve suçlu bulundu. Nihayetinde kitabının yayımlanması yasaklanan Galileo hayatının son yıllarını ev hapsinde geçirdi. İşkenceye ve acılı bir ölüme maruz bırakılmamasının tek nedeninin bilimsel başarıları sayesinde edindiği yüksek makamlardaki dostları olduğu söyleniyordu. Galileo, 1642 yılında doğal nedenlerle öldü.

Fakat görüşleri yaşamaya devam etti. 1750 yılında İngiliz Astronom Thomas Wright, Galileo'nun bulgularından bir diğeri olan, karanlık ve bulutsuz bir gecede gökyüzünde sönük ve yaygın bir şerit halinde gözlemlenen Samanyolu'nun aslında bir sürü yıldızdan oluştuğu fikri üzerine odaklandı. *Evrenin Orijinal Kuramı veya Yeni Hipotezi*[1] adlı kitabında Wright, Samanyolu'nun Güneş ve Güneş sisteminin de içinde yer aldığı, yıldızlardan oluşan bir disk olduğunu öne sürdü. Wright yıldızların Digges'in önerdiği şekilde uzayda özgürce dağılmış olduklarını değil, her biri Samanyolu'na benzeyen kozmik adalar sürüsünde kümelenmiş olduklarını hayal etmişti. Bunlara daha sonra *gökada* adını verdi. Samanyolu'nda gördüğümüz şeyin kendi gökadamızın içeriden, yandan görünüşü olduğunu iddia etti.

Bu arada kilisenin Güneş merkezli görüşe karşı duruşu zayıflamaya ve Güneş sisteminin gerçek doğasının, gezegenlerin Güneş'in etrafında döndüğü bir yapı olduğu kabul görmeye başlamıştı. 1755'te Alman filozof Immanuel Kant, Wright'ın da belirtmiş olduğu gibi, kütleçekimi nasıl gezegenleri Güneş etrafında yörüngelerde tutuyorsa, yıldızların da gökada etrafında yörüngede kalması sayesinde gökadamızın diskinin dönmekte olabileceğini öne sürdü. Gerçekten de Newton'ın kütleçekim kanunu (bkz. ikinci bölüm) yıldızların yörüngede olmasını gerektiriyor, aksi halde gökada merkezine doğru radyal bir düşüş gerçekleştirirlerdi.

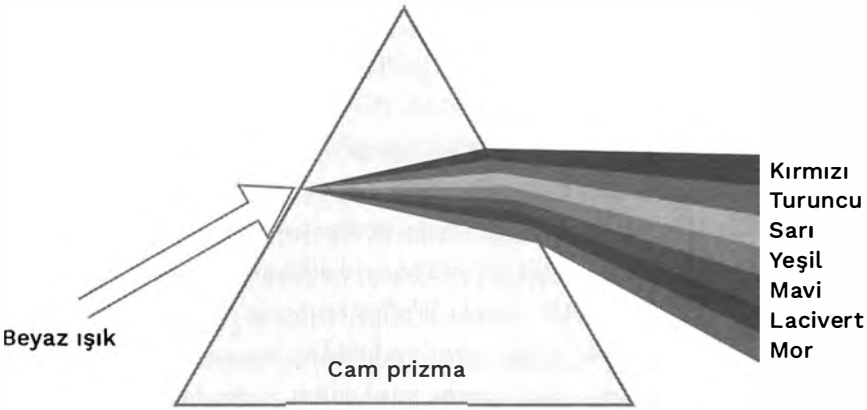
Samanyolu'nun dışında da gökcisimleri olduğuna dair kanıtlar

1 *An Original Theory or New Hypothesis of the Universe.* (ç.n.)

kuyrukluyıldızlar üzerine çalışan astronomlar tarafından bulundu. Güneş Sistemi'nin dış sınırlarında gezinen bu buz ve çamur topaklarının artık Güneş ve gezegenlerin oluşumundan kalan artıklar olduğu biliniyor. Kozmik ölçekte düşünecek olursak, kapımızın dibinde dolanan bu cisimlerin, evreni büyük ölçekte anlamamızı sağlayan bir çığır açmış olması şaşırtıcı gelebilir. Ancak bir kuyrukluyıldız Güneş'in yakınından geçtiği zaman yüzeyi bir bulut gibi buharlaşır ve bu gazlardan yansıyan Güneş ışığı gökyüzünde parıldayan bulanık bir bölge oluşturur. Kuyrukluyıldız avcıları yıldızların toplu iğne başına benzer parlak görüntülerinden oldukça farklı olan bu belirgin ışık bulanıklıklarını arayarak gökyüzünü tararlar. Kuyrukluyıldızlar da Güneş sisteminin bir parçası oldukları ve tıpkı gezegenler gibi Güneş etrafında bir yörüngede dolandıkları için, yörüngeleri boyunca hareket ettikçe konumları da kayda değer miktarda değişir. Kuyrukluyıldız yörüngesinde Güneş'e yaklaşınca maruz kaldığı ısı arttığı için yüzeyinin erimesiyle çıkan gaz miktarı da artar ve böylelikle parlaklaşır.

En azından olması gereken buydu. On sekizinci yüzyılın sonlarında bazı astronomlar kimi sönük ve bulanık cisimlerin kuyrukluyıldızlara benzeseler de hareket ediyor gibi görünmediklerini veya parlaklıklarında bir değişme olmadığını fark etmeye başladılar. Bu kafa karıştırıcı cisimler Latince bulut anlamına gelen *nebula* kelimesinden yola çıkılarak *bulutsu*[1] olarak adlandırılmaktadır. Fransız kuyrukluyıldız avcısı Charles Messier ve asistanı Pierre Méchain, bu bulutsuların ilk sistematik listesini oluşturdular. *Messier Kataloğu* adıyla 1774'te ilk baskısı yayımlanan bu çalışmada 103 Messier cismi yer almakta ve her birinin kendisine özgü bir "M" sayısı bulunmaktaydı. Günümüzde 110 tane olan bu cisimlerin hepsini tek bir gözlem gecesinde bulabilmek, amatör astro-

1 Nebulae. Nebula kelimesi zamanla Türkçede de kabul görmüştür. (ç.n.)



Kırılma süreci sayesinde beyaz ışığın prizmadan geçmesi ve kendisini oluşturan renklerin gökkuşağı tayfını ortaya çıkarması

nomlar arasında "Messier Maratonu" olarak bilinen bir beceri ve kayda değer bir gurur kaynağıdır. Ne var ki on sekizinci yüzyılın sonlarında durum gizemini korumaktaydı: Sahi, bunlar neydi?

Bu soruyu cevaplamak, yeni bir deneysel bilim dalı olan ve beyaz ışığı renklerine ayırarak her bir rengin parlaklığını ölçen tayfbiliminin ortaya çıkmasıyla birlikte yaklaşık elli yıl aldı. Gökkuşağında gördüğümüz her bir renk belirli bir dalgaboyu aralığında ışıktan oluşmaktadır. Örneğin kırmızı ışığın dalga boyu merkezi milimetrenin 700 milyonda birindeyken gökkuşağının diğer ucunda yer alan mor ışık milimetrenin yaklaşık 400 milyonda biri civarında dalga boyuna sahiptir. Gökkuşağı örneğinde hava ve yağmur damlalarını oluşturan su gibi, iki kırıcı ortam arasından geçen ışık demetinin dalga boyuna bağlı bir oranda bükülmesiyle gerçekleşen bir süreç olan kırınım sayesinde ışığın tayfa yayılması sağlanır. En çok mor gibi kısa dalga boyları bükülürken, kırmızı gibi uzun dalgaboyları en az büküldüğü için, başlangıçta paralel haldeki beyaz ışık demeti, kendisini oluşturan renklere ayrıldığın-

da yelpaze gibi yayılır.

Hakkında detaylı bilgileri gelecek bölümde öğreneceğimiz büyük Fizikçi Sir Isaac Newton, 1670'lerde beyaz ışık demetinin önceki sayfada bulunan şekildeki gibi cam bir prizmadan geçirilerek kırılması sayesinde tayfına ayrıştırılabileceğini gösterdi. İngiliz Kimyager William Hyde Wollaston, Newton'ın deneysel düzeneğini, tayfı geniş bir ekrana odaklayacak bir mercek ekleyerek geliştirdi. 1802 yılında Wollaston bunu Güneş ışığıyla yaptığı zaman her bir rengin aynı parlaklıkta olmadığını, hatta siyah şeritlerle kesilmiş olduklarını, yani ışığın tayfında kimi yerlerde eksiklikler olduğunu buldu. Daha sonra Bavyeralı fizikçi Joseph von Fraunhofer bu şeritler üzerinde çalışarak bunların neredeyse 600 tanesini katalogladı ve bugün bile o çizgiler *Fraunhofer çizgileri* olarak anılmaktadır.

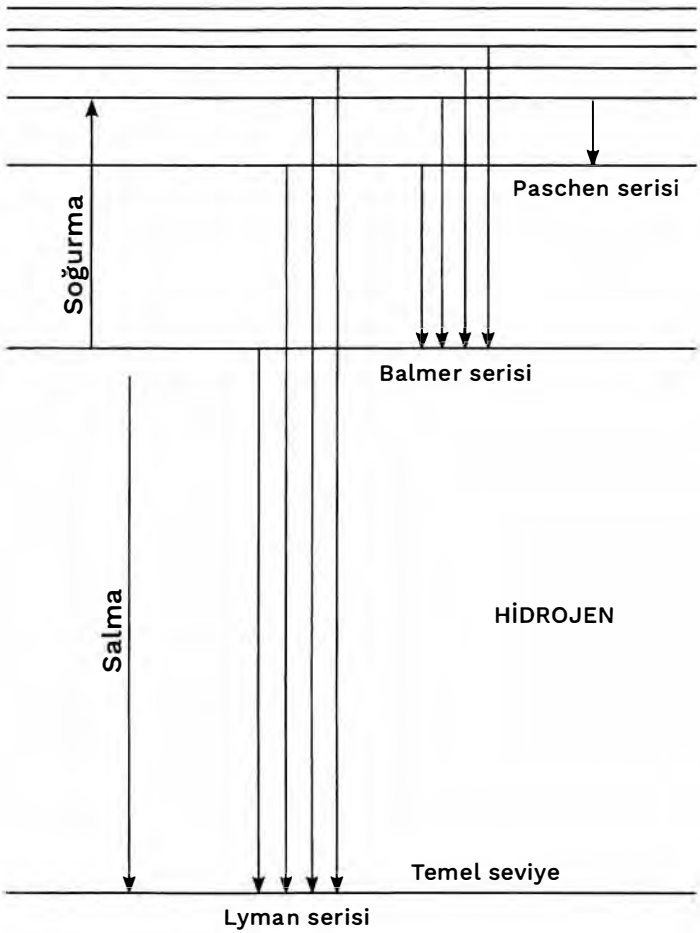
Yine de bu çizgilerin gerçek doğasının ne olduğunu ancak 1860'larda Alman kimyager Robert Bunsen ve Gustav Kirchhoff ortaya çıkarabildi. Çeşitli kimyasal element ve bileşikleri yakarak oluşturdukları alevlerin ışığı üzerinde yaptıkları çalışmada, kimi daha koyu kimi daha açık da olsa, her maddenin tayfında farklı çizgi desenlerinin mevcut olduğunu fark ettiler. Vardıkları sonuç, belirli maddelerin belirli karakteristik dalga boylarındaki ışığı emdikleri ve geri yaydıkları yönündeydi. Yani bir alevin tayfına baktıktan sonra x dalga boyunu emdiğini ve y dalga boyunu yaydığını bildiğiniz bir maddeyi yakarsanız, gözleyeceğiniz tayfın x dalga boyunda daha koyu, y dalga boyunda daha parlak çizgilere sahip olduğunu görürsünüz.

Böylece Güneş'in tayfındaki Fraunhofer çizgilerinin doğası da anlaşılır bir hal alır: Bunlar astronomların komşu yıldızımızın yapısının tam olarak nelerden oluştuğunu söylemesine imkân veren kimyasal parmak izleridir. Aslında, kimyasal element helyum ilk olarak 1868'de Güneş tayfında şimdiye kadar bilinmeyen parlak sarı bir çizgi olarak keşfedildi. Buna uygun olarak da adı Yunanca

Güneş anlamına gelen *helios* kelimesinden türetildi. 1895 yılına kadar Dünya'da bulunamamış Helyum'un varlığı tayfbiliminin ilk öngörülerinden biridir.

Tayfbilimi, detaylarına altıncı bölümde gireceğimiz ve kuantum mekaniği olarak bilinen, bilimin karmaşık bir araştırma dalı sayesinde işler. Yine de konunun özü şöyle: Tüm kimyasal elementler atom adı verilen temel yapıtaşlarından oluşmaktadır. Atom da merkezde pozitif yüklü atomaltı parçacıklar olan protonları ve az çok aynı kütleye sahip ancak yüksüz parçacıklar olan nötronları içeren bir çekirdekten oluşur. Bir gramda 1,5 milyon milyar milyar proton veya nötron bulunur. Nötronlar olmasaydı boşluk yaratıcı etkilerinin de ortadan kalkması nedeniyle daha büyük atomlarda protonlar arası elektrostatik itiş nedeniyle çekirdek dört bir yana savrulurdu. Çekirdeğin etrafında elektron olarak bilinen negatif yüklü parçacıklar bir bulut halinde dolanır. Genellikle çekirdekteki protonlarla eş sayıda elektron bulunur ve her bir elektron bir protondan 1750 kat daha hafiftir.

Elektronlar enerjilerine göre sınıflandırılır. Bir tenis sahası boyunca fırlatılan bir tenis topu, hareketi nedeniyle bir enerjiye sahiptir ve ne kadar hızlanırsa enerjisi de o kadar artar. Tenis topunun sahip olabileceği enerji durumlarının herhangi bir değeri alması mümkün olduğu için "sürekli" olduğu söylenir: Topa bir öncekinden biraz daha sert vurursam biraz daha fazla enerjisi olacaktır ancak bu biraz fazla enerjinin ne kadar fazla olabileceğini söyleyen bir sınır yoktur. Kuantum mekaniğinin keşfedilmesinden önce, kimi zaman "klasik fizik" diye de anılan döneme öncülük eden atom resmindeki elektron da istediği her enerjide olabiliyordu; tıpkı tenis topu gibi onun enerji halleri de sürekliydi. Ancak kuantum dünyasındaki elektronların benzer özgürlükte olduğunu söylemek mümkün değil. Elektronun sadece belirli enerji hallerinde veya *seviye*lerinde bulunmasını mümkün kılan,



Lyman, Balmer ve Paschen serileri hidrojen atomundaki elektronun, enerji seviyelerinin farklı kombinasyonları arasında düşmesiyle oluşur.

enerjinin *kuanta*[1] olarak adlandırılan ayrık öbekler halinde olması, kuantum kuramının en temel ilkelerinden biridir.

Bu, tayfbiliminde kilit bir rol oynar çünkü ışık bir madde tara-

1 Quanta. (ç.n.)

fından emildiğinde, aslında ışığın enerjisi maddenin atomlarındaki elektronlar tarafından soğurulmaktadır. Işığın kaybettiği enerji, atomdaki elektronların enerjisini artırır. Fakat kuantum mekaniği nedeniyle elektronlar ancak kendi izinli oldukları enerji seviyeleri arasındaki boşluğa denk gelen enerjideki ışığı soğurabilirler. Işığın enerjisi dalga boyuyla kesin bir şekilde belirlenmiş olduğu için, maddenin belirli bir enerjideki ışığı soğurmasının net etkisi, ışığın tayfında bu enerjiye karşılık gelen dalga boyunda karanlık çizgilerin oluşması olarak görülür. Benzer şekilde, elektronlar üst seviyeden alt seviyeye de düşebilir ve yine bu iki enerji seviyesi arasındaki farka karşılık gelen belirli bir dalga boyunda ışık salarlar. Işığın tayfındaki parlak çizgiler de böylelikle oluşur.

Bir mum alevinde veya Güneş benzeri bir yıldızda yandığı zaman, her kimyasal maddenin kendine özgü elektron yapısı sayesinde maddenin parlak salma çizgileri ve koyu soğurma çizgileri algılanabilir.

Örnek olarak hiç nötron içermeksizin tek bir protondan oluşan bir çekirdeğe ve bunun etrafında dolanan tek bir elektrona sahip en basit kimyasal element olan hidrojeni ele alalım. Hidrojen, her biri enerji seviyelerinin farklı ikilileri arasında elektron düşüşüne karşılık gelen ve Lyman, Balmer ve Paschen serileri olarak bilinen üç dizi parlak salma çizgi setiyle karakterize edilir.

Tayfbilimi, Messier'nin gizemli bulutsularının gerçek doğasını ortaya çıkarmaya başlayarak, on dokuzuncu yüzyılın sonları ve yirminci yüzyılın başlarında kozmoloji devrimine katkıda bulundu. 1860'larda astronomlar bulutsulardan gelen ışığı bileşimindeki renklere ayırarak elde ettikleri tayf üzerinde çalışmalar yaptılar. Bunların bazılarında hidrojen gazınınkilere eş ancak görece daha basit çizgi desenlerinin mevcut olduğunu gördüler. Bunlar, aslında yıldızlararası gaz bulutlarından başka bir şey değildi.

Ancak kimileri, daha karmaşık yapılı yıldız ışığı tayfını andırıyordu. Bulutsuların kabaca üçte ikisi bu sınıfa giriyor ki bu da

onların yıldız grupları olduğu anlamına geliyor. Bu grupların birçoğu *sarmal bulutsu*[1] olarak adlandırılmalarına neden olan detaylı döngüsel yapılar da sergiliyordu.

Genellikle bilimde cevaplar daha fazla soru doğurur. Şimdiki soru da sarmal bulutsunun Samanyolu'nun içinde mi yoksa dışında mı olduğuydu. Ortak bir karara varılamamıştı. Bazı astronomlar gökadamızın disk düzleminde keşfedilmeyi bekleyen daha nice bulutsular olduğunu fark ederek, bunların bir şekilde gökadayla ilişkili olduklarını ve bu yüzden de civarda yer aldıklarını öne sürmüşlerdi.

Diğer bir grup ise sarmal bulutsularda zaman zaman kimi yıldızların *nova* olarak bilinen parlamalar gerçekleştirdiklerini gözlemişti. Novalarla ilgili işe yarar şey, hepsinin hemen hemen aynı kalıtsal parlaklıkta olmalarıdır. Astronomların *standart kandil* diye bahsettikleri bu cisimler uzaklık ölçümünde kullanılırlar. Standart kandile yakından baktığınızda çok parlak, çok uzaktan baktığınızda da çok sönük görünür. Çünkü ışık kaynağın merkezde olduğu bir küreden dışa doğru yayılır. Kaynaktan uzaklaştıkça yıldız ışığının yayıldığı küre de genişler ve daha sönük görünmesine neden olacak şekilde gözünüze gelen toplam ışık kesri küçülür. Ne kadar sönükleştiğini ölçebilirseniz yıldızın tam olarak ne kadar uzakta olduğunu çıkarabilirsiniz.

Andromeda olarak bilinen sarmal bir bulutsuda 1971'de çok sönük ve haliyle çok uzak dört nova görülmüştü. Novalar o kadar sönüktü ki Andromeda'nın Dünya'dan yaklaşık 10 milyon ışık yılı ötede olduğuna işaret ediyorlardı. Yaklaşık olarak aynı zamanlarda Amerikalı astronom Harlow Shapley, *RR Lyrae değişen yıldızı* olarak bilinen başka tür bir standart kandil kullanarak Samanyolu'nun diskinin ancak birkaç yüz bin ışık yılı boyunda olduğunu ölçmüştü.

1 Spiral nebulae. (ç.n.)

Adını Lir[1] takımyıldızındaki RR Lyrae'dan alan ilk RR Lyrae yıldızı 1980'lerde Amerikalı astronom Edward Pickering tarafından keşfedilmişti. Güneş'le az çok aynı kütleye sahip ve ondan biraz daha sıcak olan RR Lyrae türü yıldızların parlaklıkları düzenli olarak değiştiği için bunlara değişen yıldız adı veriliyor. Bu değişimin nedeninin yıldızın, çarpan bir kalbin genişleyip büzülmesine benzer şekilde fiziksel olarak zonklamasından kaynaklandığı düşünülüyor. Yıldız büzüldükçe yoğunlaşıp opaklaşıyor ve bu da, ışık ve ışınımsal ısının kaçışını zorlaştırıyor. Parlaklık azalırken sıcaklığın artmasına neden olan bu durum, yıldızın genişleyip daha az yoğun ve daha az opak hale gelmesine neden olunca bu sefer de daha fazla ışık ve ısı çıkışı mümkün hale geliyor ve yıldız yine daha parlak ama görece daha soğuk olduğu durumdaki gibi yeniden büzülmeye başlıyor. Ve bu döngü tekrarlanıyor.

Ancak şöyle bir şey var: RR Lyrae yıldızının bir tam parlaklık değişimi gerçekleştirmesi için geçen süre, onun kalıtsal parlaklığının ortalamasıyla matematiksel bir ilişki içinde. Shapley, bu RR Lyrae türü değişen yıldızları, Samanyolu etrafında dolanan ve birbirine sıkıca bağlı yıldızlardan oluşan küresel kümelerde gözlemlemiş. Yıldızların değişim sürelerinden yola çıkarak kalıtsal parlaklıklarını çıkarabilmiş ve bu parlaklık ile görünür parlaklıklarını kıyaslayarak ne kadar uzakta olduklarını hesaplamış. Kümelerin Samanyolu'nun hemen dışında olduğunu bildiği için de bu hesaplama sayesinde Samanyolu'nun gerçek boyunu ya da en azından bunun üst sınırını da hesaplamış olmuş. 300.000 ışık yılı olarak bulduğu bu tahmin günümüzde genel kabul gören değerden 100.000 ışık yılı kadar farklı.

Gözlemlediği sarmal bulutsunun aslında Samanyolu'nun içinde olduğuna inanan Shapley için sinir bozucu olan şey, kendi keşfiyle Andromeda'da gözlemlenen novadan elde edilen öngörüler

1 Türkçede çoğunlukla Çalgı Takımyıldızı olarak bilinmektedir. (ç.n.)

birleştirildiğinde ortaya çıkan sonucun kendi inancının aksine, sarmal bulutsunun bizim gökadamızın sınırlarının kat kat ötesinde yer aldığını işaret etmesiydi.

Konunun karara bağlanmasını sağlayan gözlemler 1919 ile 1924 yılları arasında Amerikalı astronom Edwin Hubble tarafından gerçekleştirildi. Bu isim yakın zamanda gözlemsel kozmoloji alanında efsanevi bir hal alacaktı.

Hubble, 1889 yılında ABD, Missouri, Marshfield'da doğmuştu. 1906 yılında Chicago Üniversitesi'nde babasının isteği üzerine hukuk okumaya başlamış olsa da asıl tutkusu bilim, özellikle de astronomiydi. Mezuniyetinden sonraki hukuk çalışmalarına Oxford Üniversitesi'nde devam ederken bir yandan da boksa ilgi duymaya başladı. Zamanla o kadar iyi hale geldi ki boksta profesyonelleşmesi teklif edildi ancak kabul etmedi. Babasının 1913 yılında vefat etmesi Hubble'ın hayatında bir dönüm noktası olacaktı. Hemen öğretmenlik yaparak ailesine destek olmak için ABD'ye döndü. Fakat henüz içindeki derin astronomi aşkı onu terk etmemişti. 1914 yılında Wisconsin'deki Chicago Üniversitesi Yerkes Gözlemevi'nde başladığı doktora çalışmalarını 1917'de tamamladı. Aynı yıl Amerika'nın Birinci Dünya Savaşı'na dahil olmasıyla akademik kariyeri askıya alınmış oldu. 86. Piyade Tümeni'nde görev yaptı ve yarbaylığa kadar yükseldi. Neyse ki 1919'da California'daki Mount Wilson Gözlemevi'nde bir pozisyon bularak saygın Amerikalı astronom George Ellery Hale ile birlikte çalışmaya başladı. İşte burada Hubble, evren algımızı değiştirdi.

Hubble, Mount Wilson Gözlemevi'ndeki 2,5 metrelik Hooker Teleskobu'nu kullandı. 2,5 metre, teleskobun ışık toplayan ana aynasının çapını belirtmektedir. Bu ayna ne kadar büyük olursa teleskop da o kadar sönük astronomik cisimleri algılayabilir. Hooker Teleskobu 1949 yılına kadar dünyanın en büyük teleskobuydu. Günümüzdeki en büyük teleskopların aynaları 10 metre civarında ve bunun da on katı kadar büyük teleskopların yapımı planlanı-

yor! Hubble da Shapley gibi değişen yıldızları aramak için Hooker Teleskobu'nu Andromeda bulutsusu ve diğerlerine yöneltti.

Ancak Hubble, *Cepheid*[1] adı verilen başka tür bir değişen yıldız arıyordu. Bu dev mavi yıldızların parlaklığı daha yavaş değişmekte ve zonklama dönemleri birkaç saat mertebesinde olan RR Lyrae değişenlerine kıyasla altmış güne kadar varabilmektedir. Kozmoloji açısından önemli olan ise Cepheidlerin çok daha parlak olmaları sayesinde artık ayrı gökadalarda olduklarını bildiğimiz çok büyük uzaklıklardan bile görünür olmaları. Cepheid ismi, ilk olarak 1784 yılında İngiliz amatör astronom John Goodricke'in keşfettiği ve türünün ilk örneği olan Delta Cephei yıldızından geliyor.

RR Lyrae değişenlerinde olduğu gibi Cepheid'in de parlaklığı ile zonklama dönemini birbirine bağlayan bir formül mevcut. Amerikalı astronom Henriette Swan Leavitt, bunu zamanla toplamış olduğu binlerce yıldızın parlaklık ölçümleri üzerinde çalışarak 1908 yılında keşfetmiş. Cepheidlerin *dönem-parlaklık ilişkisi* olarak bilinen bu ilişki kozmolojide o kadar önemli bir yer tutuyor ki kimileri Leavitt'in bu katkısı nedeniyle Nobel ödülü alması gerektiğini öne sürse de Leavitt ne yazık ki bu çalışmanın gerçek önemi anlaşılamadan 1921 yılında kanserden öldü ve bu ödüllerin hayatta olmayan kişilere verildiği de görülmüş şey değil.

Hubble, Cepheidler sayesinde bulutsuların uzaklığını doğrudan ölçebilecek bir yol bulmuş oldu ve gözlemleri de tıpkı novalarda öngörüldüğü gibi, bunların aslında Samanyolu'nun çok ötesinde, bizden birkaç yüz bin ışık yılından da ötede olduklarını kanıtladı. Sarmal bulutsuların tıpkı Samanyolu gibi ama milyonlarca ışık yılı ötede, yıldızlardan oluşan "ada evrenler" oldukları sonucuna vardı. Sütlü[2] anlamına gelen Yunanca *galaxias* kelimesi

1 Kimi Türkçe kaynaklarda Sefe veya Sefeid olarak da geçmektedir. (ç.n.)

2 Türkçede Samanyolu adını verdiğimiz gökadamızın İngilizce ismi olan Milkyway'in birebir tercümesi "Sütyolu" şeklindedir. Samanyolu, süt yolu, milkyway, galaksi ve Yunancadaki sütlü terimi arasındaki ilişki buradan gelmektedir. (ç.n.)

nedeniyle uzaydaki bu adalara galaksi, yani gökada adı verilmişti.

Sarmal bulutsular üzerinde çalışan tek kişi Hubble değildi. 1912 ile 1915 yılları arasında Arizona'daki Lowell Gözlemevi'nde Amerikalı Astronom Vesto Slipher gökadalardan gelen ışığın tayfı, yani farklı kimyasal maddelerin ışığı soğurması ve salmasıyla meydana gelen ve daha önce bahsettiğimiz parlak ve karanlık çizgilerin oluşturduğu karmaşık desenler üzerinde çalışmaktaydı. Tabii ki Slipher, bulutsuyu oluşturan yıldızlardan görmeyi beklediği çizgi desenlerini gözledi. Ancak bir terslik vardı. Çizgiler olmaları gereken yerde değildi. Tüm çizgiler mevcut olsa da Slipher'ın üzerinde çalıştığı üç bulutsudaki çizgiler tayfın kırmızı tarafına, yani daha uzun dalga boyuna doğru kaymıştı.

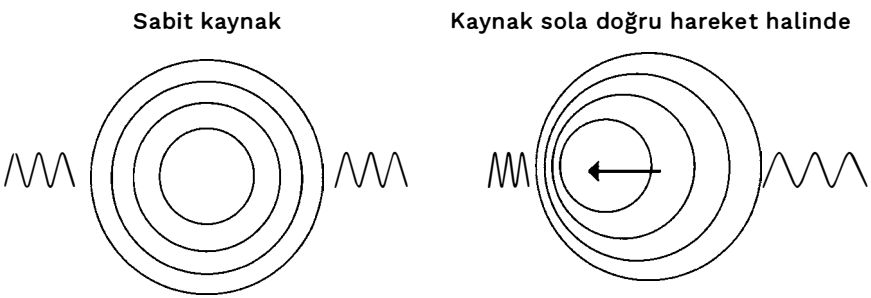
Yıldız ışığındaki bu etki zaten biliniyordu. 1842 yılında Avusturyalı fizikçi Christian Doppler'in keşfettiği, *Doppler etkisi* adı verilen bir olgudan kaynaklanmaktaydı. Keşfin aslı, sizden uzaklaşmakta olan bir ses kaynağından gelen ses dalgalarının duran bir kaynağınkine kıyasla neden daha düşük bir ses perdesinde olduğunu açıklıyordu. Doppler etkisini, yanınızdan geçen bir ambulansın sirenini dinlediğinizde, sesin nasıl da bariz bir şekilde yüksek perdeden alçak perdeye geçtiğini fark ederek tecrübe etmiş olabilirsiniz. Aracın uzaklaşma hareketi, sirenden gelen ses dalgalarının uzamasına neden olur ve her bir ses dalgasının yayılması için geçen zaman boyunca ambulans da biraz daha uzağa giderek dalga boyunun biraz daha uzamasına yol açar. Ambulans ne kadar hızlı hareket ederse bu etki de o kadar belirginleşir.

Doppler'in bu keşfi, Dünya'dan uzaklaşan bir yıldızdan gelen ışığın daha kırmızı dalga boylarına yayılmasına neden olacak şekilde, hareket eden ışık kaynaklarına da uygulanabilir. 1868'de İngiliz astronom William Huggins, ışığın tayfındaki çizgilerin yer değiştirme miktarı olan kırmızıya kayma etkisini dikkatlice ölçtü ve Doppler formülünü uygulayarak bir yıldızın uzaklaşma hızını belirleyen ilk insan oldu.

Hubble, benzer bir durumun sarmal bulutsuda da olduğunu fark etmişti. Yıldızlardan gelen ışık yayılarak, görsel ışık tayfının daha düşük frekanslı kırmızı ucuna doğru kaymıştı. Ve bunun asıl nedeni bulutsunun bizden uzaklaşmasıydı. Aslında, göreceğimiz gibi, kozmolojik kayma Doppler etkisinden çok daha şiddetli, çünkü ışık kaynağının yüksek hızdaki uzaklaşma hareketinin yanı sıra, ışık kendi yolunda ilerlerken bir yandan uzay da genişlemeye devam ettiği için ışığın daha da yayılması ve kızıllaşmasına neden oluyor.

Slipher'ın gökadalardan gelen ışıkta gördüğü kırmızıya kayma miktarı o kadar büyüktü ki bu, Andromeda'nın Samanyolu'ndan saniyede 300 kilometre (saatte 670.000 mil) hızla uzaklaştığı anlamına geliyordu. İnanılır gibi değildi! Ancak astronomlar evrenin bizimkine benzer sürüyle gökadayla dolu olduğunu buldukları gibi bunların hemen hemen hepsinin bizden akıl almaz hızlarda uzaklaştıklarını da çok geçmeden buldular.

Edwin Hubble'ın en ünlü keşfi tam da bu ikilemi açıklamaya çalışırken ortaya çıkmıştı. Asistanı Milton Humason'la çalışırken, Slipher'ın bulutsularının uzaklık ölçümlerini elde etmek için Cep-



Doppler etkisi. Soldaki görsel durağan haldeki bir kaynaktan gelen ses dalgalarını gösteriyor. İkinci görselde kaynak, hareket halinde olduğu için ardında kalan ses dalgaları daha uzun dalga boyuna doğru yayılırken, önündekiler daha kısa dalga boyuna sıkışıyor.

heid yöntemini kullanmışlardı. Günümüzde bunların her birinin ayrı bir gökada olduğunu Hubble'ın önceki çalışmaları sayesinde biliyoruz. Hubble ve asistanı 1929'da gökadaların kırmızıya kayma gösterdiklerini, yani her birinin Dünya'dan uzaklaşma hızının, bize olan uzaklıklarıyla birlikte arttığını ispatladılar. Dahası astronomlar, gökadanın uzaklaşma hızını hesaplamanın, gökadanın uzaklığını *Hubble sabiti* olarak bilinen bir sayıyla çarparak mümkün olduğunu belirten ve *Hubble kanunu* olarak bilinen bir matematiksel ilişkiyi ortaya koydular. Sabitin ilk değeri milyon ışık yılı başına saniyede 160 kilometreydi ancak modern ölçümler bunun hatırı sayılır ölçüde bir abartma olduğunu ortaya çıkarıyor.

Hubble ve Humason'ın çalışması Thomas Wright'ın evrendeki yerimize dair yorumunun tam isabet olduğunu ispatlamış oldu. Samanyolu'muz, engin uzayın karanlığını delen neredeyse sayısız adacıktan herhangi biri gibi, yıldızlardan oluşan bir gökada. Ancak bunun çok daha ötesinde bir şey de yaptılar. Tüm gökadaların, kainatın bizim bulunduğumuz köşesinden kaçarcasına uzaklaşıyor gibi görünmesi tesadüf değildi ve kesinlikle her şeye muktedir bir tanrının bizi bir tür kozmik merkeze oturtmaya layık gördüğünün bir işareti de değildi. Hubble ve Humason, her ne kadar nedenlerini açıklamak fizikte devrimler gerektirecek olsa da, aslında evrenimizin genişlediğini keşfetmişlerdi.

Neyse ki tam da bu devrimlerden biri gerçekleşti.

İKİNCİ BÖLÜM

Kuram İçinde Kuram

"Cisimlerin düşmesi yüzünden meydana gelen kazaların neredeyse %73'ünde kütleçekiminin katkısı var."

Dave Barry

Fiziğin özü, doğadaki dört temel kuvvetin incelenmesidir. Bunlar, kütleye sahip olan cisimler arasındaki çekim kuvveti olan kütleçekimi, elektrik yüklerle manyetik alan arasındaki etkileşim olan elektromanyetizma ve atomun çekirdeği içinde hüküm süren ve buradaki parçacıkları bir arada tutan, radyoaktivite gibi atomaltı olguları düzenleyen güçlü ve zayıf kuvvetlerdir.

Evrenin kökeni, evrimi ve nihai sonuna dair hikâyemiz çoğunlukla bu kuvvetlerden sadece biri olan kütleçekimi tarafından yönetiliyor. Adından da anlaşılabileceği gibi çekirdek kuvvetleri evrenin davranışını geniş ölçekte etkileyebilecek kadar uzun menzilli değil, ancak atomların çekirdekleri içinde hüküm sürebiliyorlar. Ve elektromanyetik kuvvet, her ne kadar daha geniş etki alanına sahip olsa da, yine de etkisi uzayın enginliğine taşmaya yetmiyor. Ancak ışıması tamamıyla farklı bir konu; bulutsuz bir gecede uzak yıldızlar ve gökadaların ışığı gökyüzünü tam bir elektromanyetik dalga bulamacına boyuyor.

Öte yandan kütleçekimi diğer kuvvetlere göre çok daha büyük uzaklıklarda etki ediyor. Kütleçekimi, herhangi bir miktar

madde ya da enerjinin yoğunlaşmasıyla meydana geliyor. Bizi Dünya yüzeyinde tutan kütleçekimi, uydumuzu yörüngesine ve gezegenimizin etrafına kilitlerken gezegenimizin de Güneş etrafında bir yörüngede kalmasını sağlıyor. Kütleçekiminin etkisi burada bitmiyor. Güneş'i, Güneş sistemini ve içindeki 250 milyar yıldızla birlikte Samanyolu gökadamızı bir arada tutarken, bunların aynı zamanda gökada merkezi etrafında devasa rotalarda dolanmalarını da sağlıyor. Uzayın uçsuz bucaksız boşluğunda gökadaların birbirine göre nasıl hareket ettiğini de yönetiyor. Kütleçekimi, evrenimizi bir arada tutan bir yapıştırıcı görevi görüyor.

Kütleçekiminin en iyi çalışan modeli, yirminci yüzyılın başlarında Albert Einstein'ın türettiği genel görelilik kuramıdır. İnsan zekâsının bir şaheseri olan bu kuram, uzay, zaman ve evrenin geniş ölçekteki doğasına dair cesur ve yeni bakış açıları sunar, ayrıca matematiksel zarafeti ve güzelliğiyle de göz alıcıdır. Evreni tanımlayan Büyük Patlama Modeli'nin bel kemiğini oluşturacağını da göreceğiz.

Aristoteles'in MÖ dördüncü yüzyılda konuyu gündeme getirmesiyle, ağır nesnelerin neden düştüğü sorusu üzerine kafa yoran ilk insanlar antik Yunanlar oldu. Maalesef kayalar ve tahta parçaları gibi "dünyasal" şeylerin ait oldukları yer olan Dünya'ya doğru hareket ettiğini, ateş gibi "alevli" şeylerin ise antik Yunan'da inanıldığı üzere Dünya'nın etrafını saran ateş küresine doğru yani yukarıya doğru hareket ettiğini söyleyen fikirler hedefi ıskalamıştı.

Altıncı yüzyılda, Hint matematikçi ve astronom Varahamihira muhtemelen hem cisimleri yerde tutan hem de gezegenlerin Dünya etrafındaki yörüngelerinde kalmalarını sağlayan evrensel bir kuvvetin olabileceğini düşünen ilk insandı. İkinci kısmın doğru olmadığını, gezegenlerin Dünya etrafında değil Güneş etrafında yörüngelerde olduklarını artık tabii ki biliyoruz, ancak hem antik

Yunan hem de Hint düşünürleri dünya merkezli evrene inanıyorlardı.

Filozoflar ancak on altıncı yüzyılın sonlarına doğru kütleçekiminin gerçek doğasını ve evrendeki yerini anlamaya başladılar. Galileo, kütleçekimsel alan içinde aynı yükseklikten serbest bırakılan iki farklı kütlenin yere aynı anda varacağını belirten serbest düşme kanununu işte bu zamanda ortaya koydu.

Hikâyeye göre Galileo, Pisa Kulesi'nin tepesinden farklı kütlelerde iki top bırakır ve her ikisinin de yere aynı anda ulaştığını ispatlar. Ne var ki tarihçilerin büyük bir kısmı, bu deneyin muhtemelen hiç gerçekleşmediği ama Galileo'nun farklı kütlelerdeki topların eğik yüzeyler üzerindeki hızlarını ölçen daha küçük ölçekli çalışmalar yapmış olduğu konusunda hemfikir. Yöntemi ne olursa olsun, cisimlerin kütlelerinden bağımsız bir şekilde aynı oranda düştükleri sonucu doğruydu. O zamandan beri bu, birçok kez doğrulandı. Muhtemelen en çarpıcı doğrulanışı 1971 yılında Apollo 15 astronotu David Scott'ın bir çekiç ile bir kuş tüyünü Ay yüzeyinde serbest bırakıp ikisinin de yüzeydeki regolit kumsalına aynı anda gömülmesini gözlemlemesi olmuştur. Aynı deneyi Dünya'da veya kayda değer atmosferi olan başka bir gezegende gerçekleştirmeye kalkıştığımızda kuş tüyü hava direncine maruz kalarak yavaşça süzüldüğü için deney başarılı olmaz. Galileo'nun kanunu temelde kütleçekimi ile ivmenin aynı şey olduğunu ortaya koyuyordu.

Dünyaya gelmiş en büyük bilim insanlarından birini alalım sahneye: Isaac Newton. İngiltere Lincolshire'da küçük bir kasaba olan Woolsthorpe-by-Colsterworth'te 1642 yılının Noel gecesinde dünyaya gelen Newton, eğitim hayatında gösterdiği üstün başarının ardından matematik ve günümüzde kullanılmayan ancak fizik anlamına gelen "doğa felsefesi" alanlarında çalışmak için 1661 yılında Cambridge'deki Trinity College'a kaydoldu. 1669 yılına gel-

diğinde üniversitenin Lucasian Matematik Profesörü[1] unvanını almıştı; daha sonra Stephen Hawking de bu pozisyona gelecekti.

Newton'ın bilimsel keşifleri önceki bölümde gördüğümüz gibi tayfbilimin temelini oluşturan beyaz ışığın gökkuşağı tayfındaki farklı renklere kırılmasının ispatından, niceliklerin değişim oranlarının analizinde kullanılan güçlü bir matematiksel yöntem olan yüksek matematiğin[2] gelişimine katkıda bulunmaya ve ışığı bir merkez yerine eğimli bir ayna yardımıyla odaklayarak dünyanın ilk yansıtıcı teleskobunu yapmaya kadar birçok konuda çeşitlilik gösterir. Işık üzerine yaptığı deneyler kedisi girip çıkarken bozulmasın diye kedi kapısını icat etmiş olması da büyük ihtimalle Newton hakkında uydurulan hikâyelerden biridir.

Şüphesiz en büyük başarısı 1687'de yayımlanan kitabı *Doğa Felsefesinin Matematiksel İlkeleri*[3] olmuştur. Genellikle *Principia* olarak bahsedilen kitap, 1684-1686 yılları boyunca, Halley Kuyrukluyıldızı'nın kaşifi Edmond Halley'le konuşmalarından ilham aldığı, etkinliklerinin en yoğun olduğu dönemde yazılmıştır. Halley, 1684 yılının başlarında Newton'a İngiliz bilim insanı Robert Hooke'la önceden yapmış olduğu ve Hooke'un gezegenlerin Güneş etrafında *ters kare kanunu*na uygun bir şekilde dolandıklarını kabul ederek gezegenlerin gözlenen hareketini doğru bir şekilde açıklayan matematiksel bir model kurduğunu iddia ettiği tartışmaları anlatmıştır. Bu kanuna göre kuvvet, uzaklığın karesiyle orantılı olarak azalmaktadır. Yani, örneğin Güneş'e olan uzaklığınızı iki

1 Lucasian Professor of Mathematics. İngiliz din adamı ve politikacı Henry Lucas'ın Cambridge Üniversitesi'ne ve öğrenmeye dair sevgisinin bir göstergesi olarak üstün başarılı bir matematik profesörü seçerek onu finanse etmek istemesiyle ortaya çıkan bu seçkin konuma şimdiye dek toplam 17 kişi gelmiş. (ç.n.) Kaynak: *From Newton to Hawking: A History of Cambridge University's Lucasian Professors of Mathematics*, Kevin C. Knox, Richard Noakes, Cambridge University Press, 2003.

2 Calculus. (ç.n.)

3 *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. (ç.n.)

katına çıkarırsanız ters kare kanununa göre Güneş'in size uyguladığı kütleçekimsel kuvvet 1/2'nin karesine, yani 1/4 katına düşer.

Buna cevaben Newton bu hesaplamayı kendisinin zaten yaptığını ama notlarını kaybettiğini iddia etmiştir. Newton'ın notlarını bulması aylar sürse de aynı yılın kasım ayında Halley'e gönderdiği makalede ters kare kanununun, doğrudan Kepler'in gezegenlerin hareketini açıklayan üç kanununu işaret ettiği matematiksel olarak türetilmişti. Alman Matematikçi Johannes Kepler'in, Danimarkalı uzman astronom Tycho Brahe'nin elde ettiği gözlemsel verilerden yola çıkarak oluşturduğu bu kanunlar Güneş sistemimizdeki gezegenlerin hareketinin eşsiz doğrulukta bir modelini sunan üç matematiksel maddeden oluşmaktadır. Tamamen ampirik, yani deneysel olan bu kanunları, fiziksel olarak açıklayabilen herhangi bir dayanak bulunmamaktadır. On yedinci yüzyılın başında yayımlanan bu kanunlara göre:

1. Gezegenler, iki odak noktasının birinde Güneş'in bulunduğu elipsler üzerinde hareket eder. Her iki odak noktasının aynı merkezde olması durumunda oluşan çember, özel bir durumdur. Tahtaya bir çivi çakarak çember çizebilirsiniz. Bir ucunu çivinin etrafına diğerini de kalemin etrafına doladığınız bir ipin gerginliğini bozmaksızın kalemi hareket ettirirseniz çember elde edersiniz. Ancak bunu tahtaya iki çivi çakarak tekrarladığınızda çivilerin odak noktalarında bulunduğu bir elips oluşur.
2. Güneş'ten gezegene doğru çizilen bir doğru eş zamanlarda eş alanları tarar. Bu kanuna göre gezegenler Güneş'e yakın olduklarında uzak olduklarına kıyasla daha hızlı hareket ederler.
3. Yörüngede bir turu tamamlamak için geçen sürenin karesi, elipsin yarı büyük eksen uzunluğunun (elipsin en uzun ekseninin yarısı) küpüyle orantılıdır. Yani yarı büyük eksen uzunluğu dörde katlanırsa, yörüngede bir tur tamamlamak için

geçen süre de 8'e katlanır (4'ün küpü 64, karekökü 8). Güneş sistemimizde Jüpiter gezegeninin Güneş'e uzaklığı Dünya'nın uzaklığının 5,2 katıdır ve bunun önce küpünü sonra karekökünü alırsak Jüpiter'in Güneş etrafındaki yörünge döneminin tam olarak 11,86 yıl olduğunu buluruz.

Aranızdaki şüpheciler çoktan fark etmiştir ki Newton bu ters kare kanununu gerçekten de daha önceden tamamladı mı, yoksa aslında Hooke'un fikrini çalıp sonraki aylar boyunca işin matematiksel kısmıyla mı uğraştı, orası kesin değil. Newton profesyonel yaşamı boyunca birçok bilimsel keşfin imtiyazına dair tatsız anlaşmazlıklara karışmış. Bunların en kayda değeri, Newton'ın yüksek matematiğin geliştirilmesinde Alman matematikçi Gottfried Leibniz'i fikir hırsızlığıyla suçlaması olsa gerek, aslında her ikisi de birbirinden bağımsız, kendi başlarına sonuca ulaşmış olabilirler. Newton, Leibniz'den hoşlanmamakla kalmıyor, aynı zamanda ondan, çalışmalarını karalayan anonim yorumlar yazmaya vakit ve enerji harcayacak kadar nefret ediyordu. Gerçekten de Newton'ın devasa bilimsel yeteneğinin, asabi ve tatsız bir insan olmasıyla aynı büyüklükte bir üne sahip olduğunu söylemek yanlış olmaz. Yaşamının ilerleyen yıllarında Londra Kalesi'nde Kraliyet Darphanesi müdürlüğü yaparken kalpazanları darağacında ölüme göndermekten gurur duymuş biri...

Yani Hooke'ın öngörüsünün işine yarayacağını düşündüğü takdirde Newton'ın bunu kendisine mal etmiş olması o kadar da akıl almaz değil. Ancak şu da var ki, eğer Hooke gerçekten de hesaplamaları ilk yapan kişiyse, bunları neden kendisi yayımlamamış diye de sormak lazımdır. Muhtemelen gerçeği asla bilemeyeceğiz.

Ancak Newton'ın, Kepler'in tüm kanunlarının, doğanın tek bir kuvvetinin sonuçlarına atfedilebildiğini ispatladığı makalesini Halley Londra Kraliyet Topluluğu'na sunduğunda bunun gayet iyi karşılandığını biliyoruz. Halley'in, Newton'ın çalışmalarına devam

etmesini istemesinden iki yıl sonra ortaya çıkan sonuç *Principia* olmuştu. Halley bundan o kadar etkilenmişti ki, Kraliyet Topluluğu o yılki bütçesini Cambridgeli doğabilimci Francis Willughby'ın *Balıkların Tarihi*[1] adlı külliyatının basımına harcayarak tükettiği için, kitabın 3 ciltlik basım masraflarını kendisi üstlenmişti. 5 Temmuz 1687'de basılı hale gelen *Principia*'nın gerçek dünyayı matematiksel olarak modellemedeki titiz ve sistematik yaklaşımı, moden teorik fiziğin doğumunu temsil ediyor.

Kitaptaki gurur kaynağı, Newton'ın evrensel kütleçekim kanunuydu. Newton kütleli iki cisim arasındaki kütleçekimsel çekim kuvvetinin miktarını belirleyen matematiksel formülle kanunu özetlemişti. Önceki çalışmalarının da öngördüğü şekilde kuvvet ters kare kanunuyla tanımlanıyordu. Ancak Newton herhangi bir cismin kütlesini iki katına çıkardığınız zaman kuvvetin de iki katına çıkacak şekilde cisimlerin kütleleriyle doğru orantılı olarak arttığı ve tüm bunların *evrensel kütleçekim sabiti* olarak bilinen bir orantı katsayısıyla çarpılması gerektiği gibi detaylar eklemişti. Genellikle G harfiyle gösterilen bu sabitin değeri 6,67'nin 100 milyarda biri kadardır ki bu da hem sabiti hem de kütleçekim kuvvetinin şiddetini aşırı ölçüde küçük kılar. Dünya'nın kütlesi bizi ancak gezegenin yüzeyinde tutabilmek için gereken kütleçekimini oluşturabildiğine göre bu durum bizim deneyimlerimizle de örtüşmektedir. Sizinle bu kitap arasındaki kütleçekimsel kuvvet ise tamamen ihmal edilebilir ölçüdedir.

Newton'ın kuramı Kepler'in kanunlarını da kapsar. Bunlar aslında merkezdeki yıldızın, etrafında dönen gezegenlerden çok daha ağır olduğu gezegen sistemlerini tarif etmektedir. Bu da gezegenlerin kütleçekimi, yıldızı yerinden pek fazla oynatmaya yetmediği için yıldızın durağan kabul edilebileceği anlamına gelir. Öte yandan bileşenlerin birbirleriyle kabaca eş kütlede olduğu bir

1 *The History of Fish.* (ç.n.)

çift yıldız sistemine baktığımızda cisimlerin birbirine etki etmeye yetecek kütleçekiminin mevcut olduğunu görürüz. Bu durumda bir yıldızın diğerinin etrafında dolanması yerine her ikisi de ortak bir kütle merkezi etrafında dolanır. Yıldızların bir tahterevallide olduğunu hayal ederseniz, tahterevallinin dengesini sağlamak için bunların arasına destek koyacağınız nokta kütle merkezidir. Böylesi sistemleri Newton kütleçekimi çok iyi açıklar. Hatta kâğıt kalemle hesaplaması ne kadar meşakkatli olsa da, ikiden çok daha fazla cisimle de başa çıkılabilir. Ancak günümüzde astrofizikçiler gökadaları oluştururken yoğunlaşan geniş madde bulutları gibi çok sayıda cisim içeren sistemleri tanımlarken, sayısal çözümlemelerin üstesinden gelmek için güçlü bilgisayarlar kullanırlar.

Her ne kadar Newton'ın kütleçekim kuramına ilham veren şeyin kafasına elma düştükten sonra gelen bir aydınlanma olduğuna dair o bilindik hikâyede bir parça gerçeklik payı bulunsa da, bu kuramın oluşturulması esnasında hiçbir elmaya zarar verilmemiş olduğunu da eklemek lazım. Newton'ın büyüdüğü Lincolnshire'daki Woolsthorpe Manor günümüzde bir İngiliz ulusal miras kurumu olan National Trust'a ait ve o bahçede bugün bile elma ağaçları büyümekte. Newton veba nedeniyle Cambridge'den geçici olarak ayrılmak zorunda kaldığında, 1666 yılında bir süreliğine gerçekten de buraya dönmüştü. Newton ölümünden bir yıl önce, 1726'da, daha sonra biyografisini yazacak olan arkadaşı Wiliam Stukeley'ye Woolsthorpe'taki ağaçtan düşen elmaları izlediğini ve nasıl olup da hep yere dik hareket ettiklerini merak ettiğini anlatmış. Maddenin çekici bir kuvvet oluşturması gerektiği ve bu kuvvetin etkisinin büyük mesafelere kadar varabileceği sonucuna vardığını da eklemişti. İkinci kısmı bir akşam Ay'ın gökyüzünde asılı duruşunu izlerken akıl etmişti. Ancak Newton'ın kafasına herhangi bir elma düştüğüne dair bir söylem olmaması, Woolsthope'ta gözlemlediği elmaların yemeklik iri bir tür olan "Kent

Çiçeği"[1] elması olduğu düşünülürse muhtemelen iyi bir şey. Bu elmalardan birinin kafasına düşme kısmı, hikâye tekrar tekrar anlatılırken eklenen bir süsleme olsa gerek.

Principia'da kütleçekiminin yanı sıra Newton'ın hareket halindeki cisimlerin davranışlarını kontrol eden üç fizik ilkesi olan "Newton'ın hareket kanunları" da ilk defa gün yüzüne çıkmıştı. Newton'ın ilk kanunu, durağan haldeki cisimlerin durgunluklarını korudukları veya sabit hızda hareket edenlerin bir etkiye maruz kalmadıkça hareketlerini sürdürdüklerini belirtir. İkinci kanun, üzerine kuvvet uygulanan bir cismin ivmeleneceğini söyler. Newton, gerçekleştirdiği deneylere dayanarak kuvvetin büyüklüğünü, denklemde *a* ile temsil edilen ve cismin hızının değişme oranı olan ivmesi ile kütlesinin (*m*) çarpımı olarak ifade eden o ünlü denklemi oluşturmayı başarmıştı ($F=ma$). Newton'ın üçüncü hareket kanunu her kuvvete karşılık ona eşit ve zıt yönde bir kuvvet olduğunu söyler. Yani örneğin sandalyeye oturduğunuzda sandalye de sizi ağırlığınız kadar yukarı itmektedir.

Newton'ın hareket ve kütleçekim kanunları, kuvvetlerin etkisi altında hareket eden cisimlerin davranışlarını doğru bir şekilde öngörmeye izin vermesi nedeniyle o zaman için devrimsel nitelikteydi. Bunların muhtemelen en kayda değer özelliği evrensel olmalarıydı. Dünya'daki bir ağaçtan düşen elmaya uygulanan kanunlar Güneş sisteminin dış sınırlarına yol alan uzay aracına da uygulanabilir. İki yüz yıldan fazla süredir kabul görmekte ve günümüzde de Dünya'daki görece zayıf kütleçekimsel alanlarda ve uzaydaki yakın çevremizde düşük hızlarda hareket eden cisimlerin hareketinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Ancak yirminci yüzyılın başında, o zamanlar pek az bilinen bir Alman fizikçi, hareket ve kütleçekime dair oluşturduğumuz resmi baştan çizecekti. Adı Albert Einstein'dı.

1 Flower of Kent. (ç.n.)

14 Mart 1879'da Almanya'nın Ulm kentinde doğan Einstein, içine kapanık, kitap okumayı seven ve bilime genç yaştan beri ilgisi ve yeteneği olan bir çocuktu. Otoriteden haz etmeyişi, onu okuldaki öğretmenleri arasında sevilmeyen bir öğrenci kılmıştı ve pasif yapısı da bununla birleşince askerlikten kaçmak için henüz on yedi yaşını doldurmadan Almanya'yı terk etmişti. İsviçre'ye giden Einstein 1896 yılında Zürih Politeknik'in giriş sınavını başarıyla geçmiş, matematik ve fizik okumak için kaydını yaptırmıştı. 1900 yılında mezun olana dek niyeti teorik fizik araştırmalarına devam etmekti ancak muhalif yapısı Zürih'teki hocalarından uygun bir referans almasını imkânsız kıldığı için akademide bir pozisyon bulmakta zorlandı.

Bu nedenle 1902 yılında Bern'deki İsveç patent ofisinde müfettiş olarak işe başladı. İşin çeşitliliği, düzenli bir gelirinin olması ve artakalan vakitlerinde kendi teorik fizik araştırmalarına devam edebiliyor olması hoşuna gitmişti. Einstein, hareket kanunlarını büyük ölçüde değiştirecek ve daha sonra Newton'ın evrensel kütleçekim kanunun yerini alacak olan görelilik kuramının temellerini burada atmıştı.

Hareket kanunlarının mevcut halinin yeterince iyi olmadığı şüphesi ilk olarak henüz on altı yaşındayken yaptığı bir düşünce deneyinde ortaya çıkmıştı. Bir ışık demetiyle birlikte ışık hızında hareket ederse ne olacağını merak etmişti. Işık demetinin durağan görünmesini sağlamanın mümkün olup olmadığını bilmek istiyordu ama yakında bu düşünce deneyi fizik kanunlarıyla derin bir tutarsızlık gösterecekti.

Bir ışık demetini ya da başka herhangi bir şeyi durağanmış gibi gösterebilmek için beraberinde taşımak, yani birlikte hareket etmek, *göreli hareket* denen olguya bir örnektir. Eğer 50 km/sa hızla giden bir arabanın arkasında 70 km/sa hızla giden bir başka arabadaysanız, önünüzdeki arabayı yakalarsınız ve göreli hızınız 20 km/sa olur. Bu, önünüzdeki arabanın sizin aracınızdan

bakıldığında size *göre* hareket ediyormuş gibi göründüğü hızdır. Diğer kenara çeker ve 50 km/sa hızına yavaşlarsanız göreli hız sıfıra düşer ve diğer araba sizin aracınızdan bakınca duruyormuş gibi görünür. Einstein'ın da ışık demetinin hareketsiz görünmesini sağlamak için farazi olarak yapmak istediği buydu.

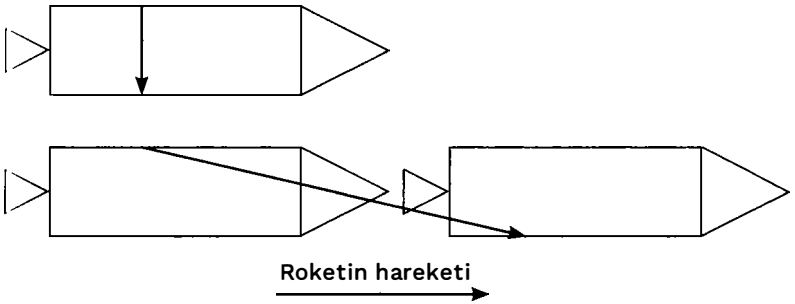
Ancak burada bir problem var. 1861 yılında İskoç fizikçi James Clerk Maxwell, elektrik ve manyetizmayı aynı şeyin farklı özellikleri olarak bir araya getirerek doğa elektromanyetik kuvvetinin birleşik bir kuramını üretmişti. Kurama göre radyo dalgaları, X-ışını ve diğer ışınım türleri gibi ışık demetleri de uzayda hareket eden ve birbirine dik açıda titreşen elektrik ve manyetik alandan oluşan elektromanyetik dalgalardı. Bu dalgaların hareket hızı olan ışık hızı, yani saniyede 300.000 kilometre, Maxwell denklemlerinden güzelce ortaya çıkıyordu. Ancak bu, kuramda doğanın *temel sabiti* olarak geçiyordu. Yani uzayın üç boyutlu olması veya çemberin çevresinin çapına oranı olan Pi'nin değeriyle (3,14159) aynı kökten gelmekteydi. Arabanıza binip son sürat yola koyulmanızın 'nin değeri üzerinde hiçbir etkisi yoktur; çemberin çevresini ve çapını ölçtüğünüzde, aracınızı ister 10 km/sa hızla, ister 100 km/sa hızla sürün (tabii bu esnada direksiyonu bir başkasına bırakmanız iyi olabilir), çevrenin çapa oranının değişmediğini, hep aynı sonucu, yani değerini verdiğini göreceksiniz. Tam da aynı şekilde, hangi hızla gittiğinizin ışığın hızı üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Bir ışık demetini kovalamaya kalkışırsanız ışık, sizin hızınızdan bağımsız olarak sizden ışık hızında kaçmaya devam edecektir. Tıpkı az önceki örnekte bir arabayı yakalamak için hızlandığınız durumda, ne kadar hızlanırsanız hızlanın onun sizden hep aynı hızla yani 50 km/sa ile uzaklaşması gibi.

Birinden biri yanlış olmalıydı: Ya Maxwell'in denklemleri hatalıydı ya da hareket halindeki iki cismin göreli hızını hesaplamak için basit ekleme çıkarma işlemleri yapmak doğru bir yöntem değildi. Sunduğu yeni öngörülerden etkilenen Einstein, Maxwell'in

yeni kuramının doğru olabileceğini düşünerek ışık hızının asla değişmeyeceği varsayımıyla göreli hareketi hesaplamanın yeni bir yolunu türetmeye koyuldu. Bu bakışla, ne kadar hızlı seyahat ederseniz edin, sizinle ışık demeti arasındaki göreli hız asla 300.000 km/sa'ten şaşmayacaktı.

1905 yılında yayımlanan sonuçlar, *özel görelilik kuramı* olarak anılacaktı. Buradaki "özel" kelimesi, az sonra değineceğimiz "genel" kuramdan farkı ortaya koymak için kullanılıyor. Einstein'ın yeni kanunları ışık hızından çok daha düşük hızlarda Newton kuramına indirgenmişti ancak cisimlerin hızları gitgide artarak nihayetinde ışık hızına eriştiğinde, öngörüler arasında devasa farkları ortaya çıkaran sonuçlar, en iyi durumda mantıksız ve genellikle de düpedüz tuhaf bir hal alıyordu.

Öncelikle Einstein, ışık hızını sabit tutmak istiyorsak, hareketsiz referans noktasına göre hareketli referans noktasındaki zamanın daha yavaş akması gerektiğini keşfetti. Bir uzay roketi içinde hareket eden bir ışık demeti düşünün. Işık demetinin, roketin bir yanından diğerine gitmesi için geçen zamanı ölçmek üzere hem roketteki astronotun hem de roket dışında durağan bir yerdeki gözlemcinin elinde birer saat bulunsun. Dışarıdaki gözlemci, ışık demetini roketin penceresinden izleyecek. Roket hareket etmezken astronot ile gözlemci, ışık demetinin roketin eni boyunca yol alması için geçen zaman konusunda hemfikirler. Şimdi roket motoru ateşlensin ve roket ışık hızına yakın bir hızda hareket ederken deney tekrarlansın. Astronota göre değişen pek de bir şey olmaz, ışık demetinin roketin eni boyunca gitmesi için geçen zaman öncekiyle aynıdır. Hızla giden bir roketin penceresinden ışık demetinin hareket süresinin ölçülebilmesi gibi uygulamaya dair sorunları bir kenara bırakırsak, dışarıdaki gözlemci için ilginç bir durum oluşur. Işık demetinin öncekinden de hızlı hareket ettiğini görür çünkü ışık demeti roketin eni kadar yol katetmesinin yanı sıra roketin hareketine dahil olarak onunla aynı yönde ilerlemiş



Üstteki şekilde, roketin içindeki astronotun gözünden ışık demetinin roket içinde bir yandan diğer yana gidişini görüyoruz. Alttaki şekilde, dışarıdaki gözlemciye göre ışık, roketin de hareketi nedeniyle daha hızlı ilerler. Işık hızının her iki gözlemci için de aynı olması için roketin referans çerçevesinde zamanın daha yavaş akması gerekir. Buna zaman genişlemesi denir.

olur. Maxwell'in kuramına göre ışık hızının her iki referans çerçevesinde de aynı hızda hareket etmesi gerektiği göz önüne alındığında, daha uzun bir yol katedebilmesinin tek yolu, daha uzun süre hareket etmesi olabilir. Bu durumda gözlemcinin saati ile astronotun saatinin saniyelerinin hızı kıyaslandığında (tabii yine bu gözlemin roketin penceresinden yapılabildiğini varsayıyoruz) hareket halindeki saatin aslında daha yavaş ilerlediğini, yani astronotun referans çerçevesine göre daha az zaman geçtiğini buluruz.

Fizikçiler buna *zaman genişlemesi*[1] diyor. Gerekli sayıları bu denklemlere yerleştirdiğimizde ışık hızının %86'sı kadar bir hızla hareket eden bir saatin saniyelerinin, duran bir saate göre kabaca yarı hızla ilerlediği ortaya çıkar.

Bu da demek oluyor ki bu hızda yirmi yıl boyunca ilerleyen bir astronot, Dünya'daki bir saatle ölçüldüğünde sadece on yıl yaşlanmış olur. Dünya'ya döndüğünde, Dünya'dan ayrıldığına kıyasla sadece on yıl yaşlanmış olurken diğer insanlar yirmi yıl yaşlanır. Astronotun perspektifinden baktığımızda astronot zamanda ileri

1 Time dilation. (ç.n.)

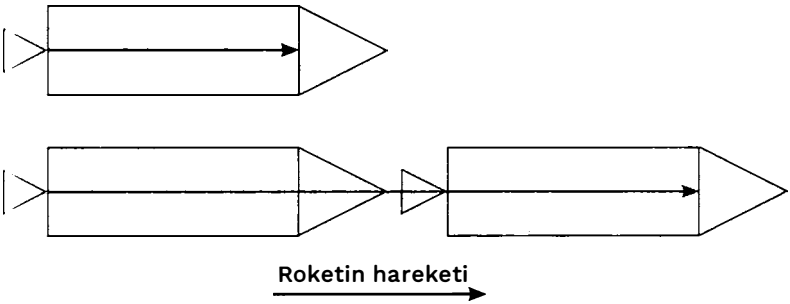
doğru gitmiş olur.

Hız arttıkça bu zaman farkı daha da artar. Örneğin ışık hızının %99,9'u hızında ilerleyen bir roketteki astronot için geçen zaman, Dünya'dakinin yirmide birinden de az olur. Astronot bu hızda, kendi referans çerçevesine göre, on yıl boyunca seyahat edip Dünya'ya döndüğünde Dünya'da 220 yıl geçmiş, tüm ailesi ve arkadaşları ölmüş ve gezegenimiz bambaşka bir yer haline gelmiş olur.

Unutmayın ki astronotun böyle sadece ileri gidebildiği türden bir zaman yolculuğu, zamanda geriye gitmekten çok farklıdır. *Geleceğe Dönüş* üçlemesini izlemiş olan herkes bilir ki, bu durum her türden sorunlu paradoksa neden olabilir; örneğin ebeveynlerinizin tanışmasını engellemek, sizin varlığınızı ortadan kaldırır. Bu nedenle birçok fizikçi zamanda geçmişe yolculuğun imkânsız olduğundan şüphelenmektedir.

Halbuki zamanda geleceğe yolculuğun hiç böyle dertleri yoktur. Zaman genişlemesi, yüksek hızlı atomaltı parçacıkların bozunma zamanları gibi birçok durumda deneysel olarak da onaylandı. Kararsız olarak bilinen bazı parçacıklar belirli zaman ölçeklerinde parçalanırlar. Ancak bu parçacıklar ışık hızına yakın hızlarda hareket ettiklerinde bozunma zamanları zaman genişlemesiyle uyumlu bir şekilde uzamış gibi olur. 1971 yılında gerçekleştirilen başka bir deneyde, dünya etrafında tur atan jet uçaklarına aşırı hassas atomik saatler yerleştirildi. Neredeyse sonsuz küçük zaman aralıklarını sayan atomik saatlerde, uzun süreli kararlı yapısı nedeniyle seçilmiş olan sezyum elementinin atomlarından yayılan hızlı mikrodalga titreşimleri kullanılarak 300 yılda bir saniye mertebesinde hassasiyet elde edilebilir. Bu deneydeki uçan saatler daha sonra yerdeki bir referans saatle karşılaştırıldığında, göreliliğin öngörülerine uyumlu küçük zaman farklılıkları bulundu.

Einstein, zaman genişlemesinin yanı sıra, sabit bir gözlemci



Şeklin üst kısmında bir ışık demeti, roketin içindeki astronotun gördüğü şekilde roketin arka ucundan önüne doğru hareket ediyor. Alttaki şekilde, gözlemcinin gördüğü şekilde ışık, roketin de hareketi eklendiği için daha çok yol katetmiş oluyor. Işık hızının her iki gözlemci için de aynı değerde olmasını sağlamak için dışarıdaki gözlemcinin roketi daha kısa görüyor olması gerekir. Bu olgu, uzunluk büzülmesi olarak bilinir.

tarafından ölçüldüğü üzere, hareket eden bir nesnenin boyutunun hareket yönünde küçüldüğünü de gösterdi: "uzunluk daralması" olarak bilinen bir fenomen. Büzülme katsayısı, zaman genişlemesindeki katsayıyla aynıdır; ışık hızının %86'sı hızında giden bir roket durağan olana kıyasla yarı uzunlukta görünür. Roketin içinde başka bir ışık demeti düşünecek olursanız bu durumun neden böyle olduğunu görebilirsiniz: Bu seferki ışık demeti önceki örnekteki gibi roketin enine değil de boyuna doğru, yani arka ucundan ön ucuna doğru hareket etsin. Durağan gözlemci, ışık demetinin hem roket boyunca hareket ettiğini hem de roketin hareketiyle birlikte fazladan biraz daha yol katettiğini görür. Fazladan katedilen bu mesafe nedeniyle gözlemcinin referans çerçevesindeki ışık demeti ışıktan hızlı hareket etmiş gibi görünür.

Işık hızının hem astronot hem de gözlemci için aynı değerde olmasını sağlamanın tek yolu, gözlemcinin roketi daha kısa gör-

mesiyle mümkün olabilir ve bu da *uzunluk büzülmesi*dir.[1]

Özel görelilik, durağan gözlemcinin hareketi de işin içine girdiğinde, iki olayın aynı anda olup olmadığı görüşünü dahi bozar. Roketimize geri dönelim ve astronotun uzay aracının her iki ucuna da eşit mesafede bir noktada, tam ortada, bir ışık açtığını hayal edelim. Astronotun referans çerçevesine göre ışık, roketin her iki ucuna da aynı anda, eşzamanlı olarak varır. Ama dışarıdaki gözlemcinin görüşüne göre roketin arka kısmı ışığa doğru ilerlerken roketin ön kısmı ışıktan uzaklaşır, yani ışık önce arkaya erişir. Einstein sayesinde ışık hızına yakın toplantılar planlayabilmek için artık sadece bir ajandaya değil bir de fizik diplomasına ihtiyacımız var.

Aslında uzay ve zaman kavramının tamamı ayrık olgular olarak görelilik içinde yok oluyor ve yerini fiziğin bundan sonra sahne alacağı *uzayzaman* olarak bilinen dört boyutlu birleşik bir dokuya bırakıyor. Fizikteki yegâne denklemin ne olması gerektiği sorusunu yönelten bu yaklaşım günlük hayatta da ün salmıştır. Sıradan üç boyutlu uzayda hareket halindeki kütleli bir cisim, kinetik enerji adı verilen bir özelliğe sahiptir; bu, kelimenin tam anlamıyla hareketin enerjisi demektir. Ancak Einstein, görelilik kuramının uzayzamanında, yüksek kütleli cisimlerin sırf zamanla hareketleri nedeniyle enerjiye sahip olduklarını da buldu. Bu enerji, cismin kütlesi ile ışık hızının karesinin çarpımına eşit, yani $E = mc^2$. Bu da, kütle ve enerjinin birbirine denk oldukları ve ışık hızına bağlı bir ilişkileri olduğu anlamına gelir. Cismin kütlesinin bir kısmı yok edilirse bir miktar enerji açığa çıkar ve bu denklem de bize bu enerjinin tam olarak miktarını söyler. Bunun daha sonra nükleer gücün temeli olan kurucu ilke olduğu ortaya çıktı: Bozunma[2] ve kaynaşma[3] gibi bazı süreçler aşırı miktarda enerjinin

1 Length contraction. (ç.n.)
2 Fisyon olarak da bilinir (İng: fission). (ç.n.)
3 Füzyon olarak da bilinir (İng: fusion). (ç.n.)

açığa çıkmasıyla atom çekirdeğinin kütlesinin azalmasına neden olabilir.

Einstein'ın görelilik kuramında enerjinin davranışı üzerine çalışmaları, diğer bir şaşırtıcı aydınlanmaya daha yol açtı. Hareket halindeki bir cisim ivmelendiği zaman hızlanması için gereken enerji gitgide artar ve nihayetinde ışık hızına erişmesi için sonsuz enerji gerekir. Diğer bir deyişle, bu gerçekleşemez. Bu nedenle özel görelilik kuramı genellikle hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı hareket edemeyeceği şeklinde yorumlanır.

Gerçekte bu, tam olarak doğru sayılmaz. Göreliliğin tüm söylediği aslında hiçbir şeyin ışık bariyerini altından ya da üstünden aşamayacağıdır. Eğer halihazırda ışıktan daha hızlı hareket eden bir cisim üretebilmiş olsaydınız, o zaman da onu ışık hızının altına yavaşlatmak için sonsuz enerji gerekirdi; tıpkı ışıktan yavaş hareket eden bir cismin sonsuz enerji kazanıp ışık hızının üstüne çıkamayacağı gibi. Doğuşlarından beri ışık hızından hızlı oldukları iddia edilen takyon[1] adlı parçacıkların var olduğu hipotezi öne sürülmüş olsa da henüz bunların varlıklarına dair hiçbir deneysel kanıt mevcut değil. Sizin, benim ve gözlemlenebilir evredeki diğer her şey için ışık hızı, mümkün olanın en hızlısıdır.

Özel görelilik gibi baştan sonra devrimsel ve zaman zaman da şaşırtıcı bir kuramın ortaya çıkması nadir bir durum. Kuram, başından beri çürütülmeye çalışıyor. CERN'deki[2] ünlü Büyük Hadron Çarpıştırıcısı benzeri parçacık hızlandırıcıları, rutin olarak atomaltı parçacıkları ışık hızının en ufak bir kesrine dahi erişebilmesi için onları iteklerken, davranışlarını ve özellikle de bozunma sürelerini ölçüyor ancak sonuçlar her seferinde özel görelilik kuramının tahminlerini doğrulamaya devam ediyor.

1 Tachyon. (ç.n.)

2 Fransızca "Conseil européen pour la recherche nucléaire" isminin kısaltması, Türkçe'de "Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi", ANAM olarak da bilinmektedir. (ç.n.)

Sanki özel görelilik yeterince garip değilmiş gibi Einstein işleri daha da garipleştirmek üzereydi. Başarılı olmasına rağmen özel görelilik sadece herhangi bir kütleçekimsel ortamın yokluğunda geçerliydi: Basitten başlamayı uman Einstein modeline kütleçekimi eklememişti. Zaten bu yüzden kuramın adı "özel"di; özellikle kütleçekimin olmadığı durumlardaki hareketi hedeflemişti. Einstein'ın şimdi aradığı şey ise, işin içine kütleçekimin de eklendiği "genel" kuramdı.

Henüz işin içine girmeden de Newton'ın kütleçekim kuramının görelilikle ters düşmesi gerektiğini biliyordu. Newtonsal[1] bakışa göre kütleçekimsel alan, uzayda anlık hareket halindeydi; yani herhangi bir nedenle Güneş birdenbire kaybolursa, onun Dünya üzerindeki etkisi de anında ortadan kalkacak ve Dünya uzaya savrulacaktı. Fakat Einstein, kütleçekimi dahil hiçbir şeyin ışıktan hızlı gidemeyeceğini özel görelilikte çoktan ispatlamıştı. Dünya'nın Güneş'ten 8,3 ışık dakikası uzakta olması, eğer yıldızımız gerçekten de bir anda ortadan kaybolursa, onun kütleçekimsel yokluğunun bize ulaşmasının 8,3 dakika alacağı anlamına geliyor. O zamana kadar her şey normalmiş gibi yörüngemizde hareketimize devam ederdik. Eğer özel görelilik doğruysa, ki kanıtlar öyle gösteriyor, bu durumda Newtonsal kütleçekim yanlış olmak zorunda.

Einstein, Galileo'nun farklı kütlelerdeki cisimlerin kütleçekimsel alanda yere doğru ivmelenmelerinin aynı oranda olduğunu, yani kütleçekim ile ivmelenmenin aynı şey olduğunu söyleyen ve bu bölümün başlarında bahsettiğimiz serbest düşme kanunundan da haberdardı. Einstein daha sonra "hayatımın en mutlu düşüncesi" diye tarif edeceği, 1907 yılındaki ünlü düşünce deneyinde bu kavramın temellerini atmıştı.

Bu durumda, penceresi olmayan kapalı bir asansör içindeki

1 Newtonian. (ç.n.)

bir kimsenin, asansörün yukarı doğru ivmelenmekte mi yoksa bir kütleçekimsel alan içinde öylece duruyor mu olduğunu ayırt edemeyeceğini fark etti. Şimdi aynı asansörü uzayda, tüm kütleçekimsel alanlardan uzakta hayal edin. Asansör hareketsiz olduğu zaman ağırlıksız olursunuz. Ancak yeterince hızla yukarı doğru ivmelenirse, tıpkı araba hızla ivmelendiği zaman iyice koltuğa gömülmeniz gibi, kendinizi asansörün tabanına yapışmış halde bulursunuz ve pencere de olmadığı için bu durumun gerçekten asansörün ivmelenmesinden mi yoksa kütleçekimsel bir alanın varlığından mı kaynaklandığını ayırt edemezsiniz.

Dahası, bu iki olasılığın hangisinin geçerli olduğunu anlamak için bir sarkacın sallanmasından, biyolojik hücrelerin büyümesine ya da atomaltı parçacıkların çarpışmasına kadar hiçbir bilimsel deneyin işe yaramayacağı Einstein için aşikârdı. Einstein, Galileo'nun gözlemini *eşdeğerlik ilkesi*[1] adı altında genel göreliliğin ana ilkesi haline getirmişti.

Bunları aklında tutan Einstein, kütleçekim kuramının nasıl bir şekil alması gerektiğini çözmüştü. Hayali asansöre geri dönecek olursak, bir duvardan diğerine bir ışık demeti yansıdığını hayal etti. Bir an için eğer asansörün gerçekten de yukarı doğru ivmelendiğini varsayarsak, ışığın karşı duvara çarpacağı yer, ayrıldığı duvardaki çıkış hizasının bir miktar aşağısında olacaktır, çünkü ışık demetinin asansörün genişliği boyunca yol katetmesi için bir miktar zaman gerekir ve bu sırada da asansör az da olsa yukarı hareket etmiş olur. Bu durumda asansörün içindeki gözlemciye göre ışık demeti aşağı doğru eğilmiş gibi görünür. Ama unutmayın ki eşdeğerlik ilkesi hiçbir deneyin asansörün gerçekten de ivmelendiğini mi yoksa bir kütleçekimsel alanın içinde mi olduğunu ayırt edemeyeceğimizi söylüyor. Bu da demek oluyor ki kütleçekimsel alanın varlığı durumunda da ışığın eğik bir yol izlemesi

1 Equivalence principle. (ç.n.)

gerekir. Einstein için bunun ne anlama geldiği açıktı: Doğru kütleçekim kuramı, özel göreliliğin düz yapıdaki uzayzamanını alıp, içerdiği maddeye göre onu bükmeliydi.

İşin zor kısmı şimdi başlıyordu. Einstein, kuramın matematiksel çerçevesi için, on dokuzuncu yüzyılda yaşamış ve *diferansiyel geometri* adıyla bilinen çalışma alanındaki öncü isimlerden olan Alman matematikçi Bernhard Riemann'ın çalışmalarını işin içine katmıştı. İki boyutlu eğri Dünya yüzeyi üzerinde hareket ettikçe konumumuzu işaretlemek için kullanılan enlem ve boylamlara benzer eğri yüzeylerin matematiksel gösterim şekillerinden biriydi bu. Tek fark, Riemann'ın matematiğinin sadece iki değil istenen her sayıda boyuttaki eğri yüzeylere uygulanabilmesiydi ve eğer kuram genel göreliliğin karışık dört boyutlu uzayzamanını tanımlamaya çalışıyorsa bu mutlak bir gereklilikti. Bir yanda diferansiyel geometri varken, kütle ve enerjinin gerekli eğriliği tam olarak *nasıl* sağladığını bulmak için şimdi sormamız gereken soru, karmaşık yapının uzayzamanın içeriğine nasıl bağlanacağıydı.

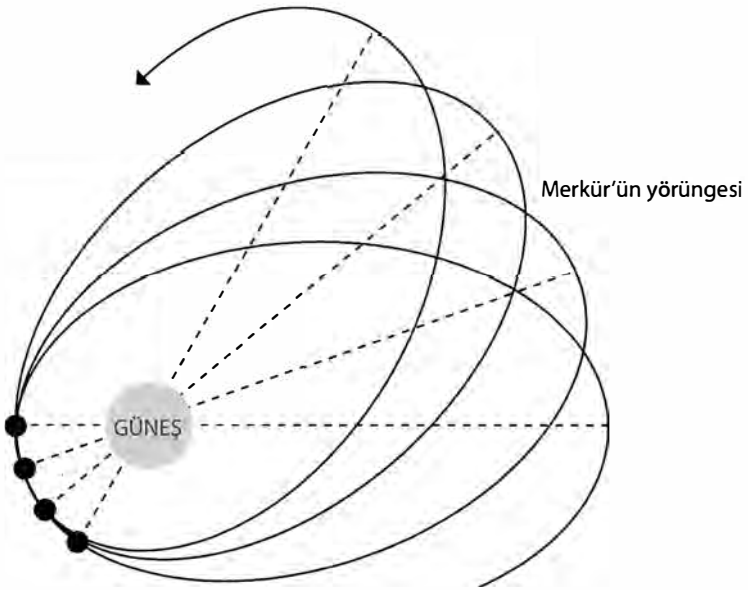
Bu bilinmezi çözmek, Einstein'ı 1915 Kasım'ına kadar oyaladı. Alman matematikçi dostu David Hilbert'la birlikte tüm enerjisi tükenmek üzereyken Einstein nihayet altın vuruşu yaparak genel göreliliğin anahtarını bulmayı başardı: uzay ve zaman geometrisini madde ile bağlayan *alan denklemi*. Denklemin sol tarafında Riemann'ın diferansiyel geometri kuramının matematiksel nicelikleri uzayzaman eğriliğini tanımlıyordu. Ve sağda da içeriğini belirleyen nicelikler yer almaktaydı.

Ancak Newton'ın kuramında kütleçekimin tek kaynağı kütleyken, Einstein'ın alan denkleminin sağ tarafı uzayda mevcut bulunan enerjinin (örneğin ışıma gibi) ve momentum ya da basınç gibi maddeye has özelliklerin etkilerini de içermekteydi. Einstein'ın önceki keşfi olan özel görelilikte kütle ve enerjinin aslında aynı şeyin farklı özellikleri ($E = mc^2$) olduğuna bakılırsa, genel gö-

relilikteki kütleçekimi yaratan şeyin enerji olduğu gerçeği şaşırtıcı gelmemeli.

Einstein'ın alan denklemi uzayzamanın kütle ve enerji yüzünden nasıl eğildiğini anlamaya çalışan fizikçilerin yardımına yetişerek bu eğri ortamdaki cisimlerin hareketlerini hesaplamalarına da imkân vermiş oldu. Örneğin gezegenlerin yuvarlanan bilyeler gibi etrafında dolandığı Güneş, uzayda dev bir içbükey çöküntü oluşturur. Cisim ne kadar ağırsa, uzayda yol açtığı çukur da o kadar derin olur ve oluşturduğu kütleçekimsel alandan kaçmak da o kadar zordur. En uç sınır olan karadelikler o kadar yoğun cisimlerdir ki uzayda yarattıkları çukur, ışığın bile kaçamayacağı kadar derin bir huni şeklindedir. Bir sonraki bölümde göreceğimiz gibi, Einstein'ın alan denkleminde özetlenmiş olan genel görelilik, daha sonra astrofizikçilerin evrenin evrimini tarif eden ilk matematiksel modelleri formüle etmelerine de imkân tanımıştır. Bu modeller Hubble ve Humason'ın evrenin genişlemekte olduğuna dair keşfini güzelce açıklamış ve sonrasında da evrenbilimcilerin, evrenin belki de Büyük Patlama gibi bir başlangıcı olabileceği yönündeki fikirlerine öncülük etmiştir. Ama şimdilik o kadar da değil. 1915'in kış aylarında Einstein, alan denkleminin kendi uyarlamasının gerçekten de doğru olduğundan nasıl emin olabilirdi?

Gezegenlere dair bir gözlem, uzun zamandır astronomları hayrete düşürüyordu. 1859 yılında Fransız matematikçi Urbain Le Verrier, Güneş sisteminin en iç gezegeni olan Merkür'ün eliptik yörüngesinin Güneş etrafındaki uzun süreli hareketinin sonucunda ilmekli bir çiçek çizer gibi bir yol izlediğini fark etmişti. Etki çok ufaktı; Merkür'ün yörüngesi bir yüzyılda ancak 0,012 derece dönme gösteriyordu ama nihayetinde bu dönme vardı ve nedenini kimse bilmiyordu. Başlangıçta bunun Merkür ile Güneş arasında dolanan başka bir küçük gezegenden kaynaklanabileceği düşünüldü ama bu gezegeni bulmak için yapılan tüm astronomik aramalar sonuçsuz kalmıştı. Halbuki cevap Einstein'ın yeni kuramındaydı.



Merkür'ün Güneş etrafındaki eliptik yörüngesi uzun zaman içinde bir sarmal çiçek deseni çizerek yavaşça dönmektedir. Bu etkiyi genel görelilik kusursuz bir şekilde açıklıyor.

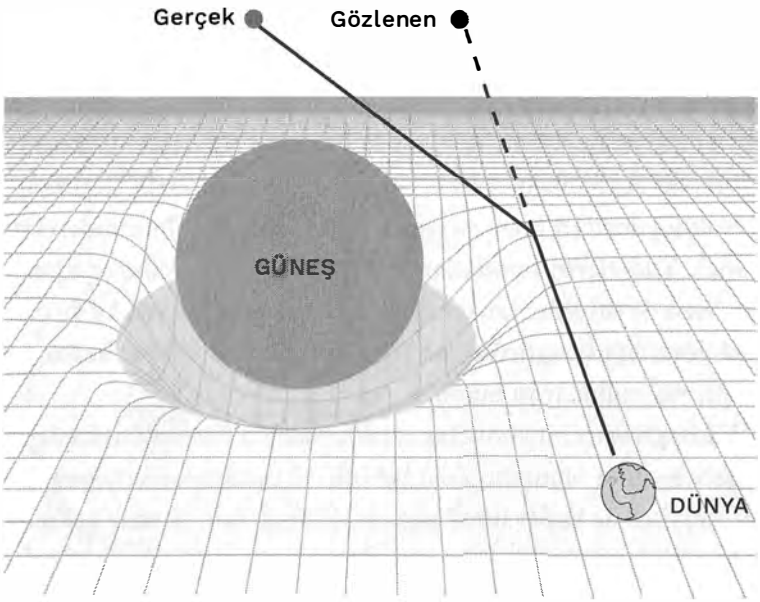
Genel göreliliği probleme uyguladığımız zaman Merkür'ün yörüngesinin tam da Le Verrier'nin gözlemlediği gibi dönmesi gerektiği öngörülüyordu. Bu, genel göreliliğin başarıyla geçtiği ilk gerçek sınavdı; Newton'ın kütleçekim kuramının açıklayamadığı bir şeyi açıklamıştı, hem de üstün bir başarıyla.

Ancak bir sonraki deneysel başarı bundan da büyüktü. Einstein'ın kuramına göre uzay da eğri olduğuna göre ışık ışınlarının izlediği yollar da eğri olmalıydı. Peki bu tahmin nasıl test edilebilirdi? Dünya yakınındaki en yüksek kütleli cisim olan yıldızımız Güneş, gezegenimizin kütlesinin 330.000 katı kadardı. Bu devasa kütle yığınına rağmen Güneş'in yanından geçip giden bir ışık ışını çok küçük bir miktar, derecenin ancak 0,0005 katı kadar bir sapma gösterecekti. Yıldızdan gelen ışık Güneş'in parıltısında kaybolmayacak olsa bunu zar zor ölçmek mümkün olabilirdi belki. Bu

sorunu çözmek için İngiliz astronom Arthur Eddington bir fikirle çıkagelmişti: Güneş tutulması esnasında, Güneş'in etrafındaki parlaklık Ay'ın silüetiyle örtüldüğü zaman gözlem yapılabilirdi. 1919'da Eddington, Batı Afrika'nın Principe Adası'nın Gabon kıyılarına bir gezi düzenleyerek, Güneş'in gökyüzündeki konumuna çok yakın yıldızları fotoğraflamak için Güneş tutulmasından faydalandı. Yıldızların konumlarını fotoğraflarla karşılaştırdığında gerçekten de tutulma esnasında her zamankine kıyasla az da olsa, genel göreliliğin öngörülerine göre hesaplanan miktar kadar yer değiştirmiş olduklarını buldu.

Eddington'ın bu sonuçları açıklamasıyla Einstein neredeyse bir gecede ünlü olmuştu. Zeki bir bilim insanını haber yapmanın yanı sıra, her ne kadar itiraf etmese de dikkatleri üstüne çekmekten keyif alan ve her zaman manşete taşınmaya değer sözler eden bu asi ve hazırcevap adamı basın çok sevmişti. Halk da mest olmuştu. Einstein 1920'lerdeki "Einstein çılgınlığı" sayesinde Birleşik Devletler'de bir seminer turnesine çıkmış ve Başkan Warren G. Harding ile Beyaz Saray'da görüşmüştü. Konuları Almanca anlatmasına rağmen turnenin tüm biletleri tükenmişti.

Günümüzde genel görelilik, uydu navigasyon aletleriyle her gün test edilmektedir. Kuramın sonuçlarından biri olan zamanın kütleçekimsel alan içinde daha yavaş akması nedeniyle, aletlerin doğru tahminlerde bulunabilmesi için Einstein'ın denklemleri kullanılarak bu etkinin düzeltilmesi gerekir. Sivil navigasyon alıcıları ilk olarak 2000'li yılların başlarında erişilebilir oldu. Daha yakın zamanda ise astronomlar kütleçekimsel dalgaların algılanmış olduğunu teyit ederek genel görelilik kuramının test edilmemiş son öngörüsünü onaylamış oldular. Durgun bir göle bir taş atınca dev halkalar halinde kıyıya doğru yayılan dalgalara benzer şekilde patlayan yıldızlar veya birleşen karadelikler gibi bu sert kütleçekimsel olgu da uzayzaman dokusunun esnekliğinde evren boyunca ışık hızında hareket eden dalgalar oluşturur.



Güneş civarındaki yıldız ışığı büküldüğü için yıldızların gözlenen konumlarında kayma gözlenir.

Dalgalar kendilerini uzayda iki nokta arasındaki mesafede ufak oynamalar şeklinde gösterir. Aralarındaki mesafe bir metre olan iki noktanın ayrıklığı, bir kütleçekimsel dalga geçtiği zaman, santimetrenin milyar kere milyarda biri (atomların çekirdeğinde bulunan proton parçacıklarının boyunun yüz binde biri) kadar salınır, yani çok küçüktür. Bu mesafeyi yoldan geçen bir arabanın en ufak titreşimi bile gölgede bırakabileceği için bu dalgaları algılamak zorlu bir görev haline dönüşmüştür.

Ancak dalgaların Einstein'ın alan denkleminin bir sonucu olduğunun anlaşılmasının üzerinden tam 100 yıl geçtikten sonra, 2016 yılında, uluslararası bir bilim insanları işbirliği tarafından dalgaların ilk kez gözlemlendiği açıklandı. Bilim insanları kütleçekimsel dalgaların geçerken yarattığı değişimin büyüklüğünü güçlendirmek için lazer demetlerini, 4 kilometre uzunluğundaki

tünellerde yüzlerce defa yukarı aşağı sektiren ve girişim ölçer[1] adı verilen aletler kullanırlar. Amerika Birleşik Devletleri'nde bu dedektörlerden 3000 km aralıklı iki tane, İtalya'da da daha küçük bir tane bulunmaktadır. Olası yanlış sonuçları eleyebilmek için birden çok dedektör kullanılır. 14 Eylül 2015'te tarihe geçmiş ilk gözlemde, her biri Güneş'in kütlesinin yaklaşık otuz katındaki iki karadeliğin birleşmesinden kaynaklandığına inanılan kütleçekimsel dalgalar gözlemlenmiştir. Konumsal çözünürlük çok kesin bir konum vermeye imkân tanımasa da, gökyüzümüzün güney yarıküresinde gerçekleştiği söylenebiliyor. Bu kitabın yazıldığı sırada beş gözlem daha yapıldığı doğrulandı.

On dördüncü bölümde göreceğimiz gibi kütleçekimsel dalgaların gözlemlenmesi sadece genel göreliliğin son onayı değil, aynı zamanda evren üzerindeki çalışmalar için de yeni bir çağın başlangıcıdır.

Ancak biraz fazla ileri gittik. Birinci bölümde gördüğümüz gibi, yirminci yüzyılın başlarında uzak gökadaların teleskopla yapılan kafa karıştıcı yeni gözlemlerinin, mevcut kuramları sınırların da ötesine ittiği ortaya çıkmıştı. Einstein'ın cesurca çizdiği kütleçekimin yeni tablosu olan genel görelilik kuramı, bu kozmik bilmecenin içine bodoslama dalmak üzereydi. Ve sonuç, genel olarak evrenin kökenini ve evrimini anlamamızda bilimsel bir devrimden başka bir şey olmayacaktı.

1 İngilizcesi interferometer olan bu terim Türkçede interferometre olarak da bilinmektedir. (ç.n.)

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Genişleyen Kainat

"Evrenin genişlediğini söylüyorlar. Bunun trafiğe faydası olur."

Steven Wright

Albert Einstein, Newton'ın kütleçekim kanununu sıradışı bir şekilde yeniden icat edercesine, o pek etkileyici genel görelilik kuramını yirminci yüzyılın ikinci yarısında yayımladı. Oluşumu on yıl süren kuram, kütleçekimin uzay ve zamanı büken yüksek kütleli cisimler tarafından oluşturulduğunu öne sürüyordu. Bu eğri, zaman ve uzayda diğer cisimler de hareket ettiği için doğal olarak arkalarında tıpkı Güneş etrafında dolanan bir gezegenin yörüngesi veya sıcak bir yaz akşamı bir topun havada çizdiği yay gibi kıvrımlı izler bırakıyorlardı. Kuramın 1915'te yayımlanmasının üstünden çok geçmeden diğer bilim insanları da kuramı hayattaki günlük problemlere uygulamaya koyuldular.

1916'da Alman fizikçi Karl Schwarzschild, yıldız gibi merkezi bir *nokta kaynak* tarafından oluşturulan kütleçekimsel alanda uzay ve zamanın nasıl büküldüğüne dair Einstein'ın denklemlerinin bir çözümünü yayımladı. Schwarzschild'in ölmeden hemen önce, Birinci Dünya Savaşı sırasında Doğu Cephesi'nde hizmet ederken yazdığı Güneş etrafındaki gezegenlerin yörüngelerini tanımlayan makalesi, daha sonra da karadeliklerin araştırmaları-

na temel oluşturacaktı. 1916 ile 1918 yılları arasında çalışmalarını birbirinden bağımsız sürdüren Alman mühendis Hans Reissner ve Finlandiyalı fizikçi Gunnar Nordström, Schwarzschild'in çözümünün, elektrik yüklü bir nokta kaynağı tanımlamak için nasıl genişletilebileceğini bulmuşlardı.

Bu sırada Einstein da şöhretinin gölgesinde dinleniyor değildi. 1917 yılında genel göreliliği bir bütün olarak evrene uygulayan muhtemelen ilk kişi oldu. Birinci bölümde gördüğümüz gibi 1910'lar ve 1920'ler kozmoloji için heyecan verici ve aydınlatıcı zamanlardı. Harlow Shapley'nin Samanyolu gökadamızın boyutlarını belirlemede gösterdiği azim, artık Charles Messier'nin gizemli sarmal bulutsusunun, gökada içinde değil aslında muhtemelen çok daha ötede yer aldığı anlamına geliyordu. İlgi, kendi gökadamızın sınırlarının ötesine uzanan evrenin doğasına kaymıştı. Ve cevapları içinde barındıran fizik dalı büyük olasılıkla kütleçekimdi çünkü doğadaki diğer tüm kuvvetlerin etki alanları, evrende büyük ölçekli bir etki yaratabilmek için fazlasıyla küçüktü.

Einstein yeni kuramını tüm evrene uygulamak için işe koyulduktan kısa bir süre sonra bir engelle karşılaştı. Zamanın fizikçi ve astronomlarında hüküm süren beklenti, evrenin ezelden beri var olduğu ve sonsuza kadar da var olacağı yönündeydi. Aklı başında biri neden böyle düşünmesindi ki? Bilim insanlarını antik Yunan'ın gezegen ve yıldız hesaplarını yeniden yazmaya zorlayan kanıtlar ortaya çıkmış olsa da, evrenin ötesi hakkında çok az şey biliyorduk. Evrenin durağan ve değişmez olduğuna, hep var olduğuna ve var olmaya devam edeceğine dair doğal varsayıma meydan okumaya sebep olacak hiçbir şey yoktu.

Ancak yine de Einstein zorlu hesaplamaların üstesinden geldi ve gördü ki, genel görelilik denklemleri evrenin durağan olmak dışında her şekilde olabileceğini söylüyordu. Dinamik bir kainat resmi çizilmişti: Evren genişleyebilir veya büzülebilirdi ama dur-

gun kalmadığı kesindi. Bu biraz da Dünya'da havaya bir top atmaya benziyor. Top yükselir, çıkabileceği en fazla yüksekliğe çıkar ve geri düşer; yani ya yerden yükseliyordur ya da yere doğru gidiyordur.

Bu gerçeğe rağmen Einstein'ın hesaplamaları onu genel görelilik denklemlerinin yanlış olduğuna ve durağan bir evren barındırabilmek için değiştirilmeleri gerektiğine inandırmıştı. Belki de kendi kütleçekim modelindeki kütleçekimin, Newton'ın kuramının önerdiği şekilde, Dünya'daki davranışa uygun davranmak zorunda olmayacak kadar aykırı olduğuna inanmıştı; özellikle de günlük deneyimlerimizden çok uzak bir sahne olan tüm evrene uygulandığında. Nihayetinde Merkür'ün yörüngesine dair bilmecede durum gerçekten de öyleydi; genel görelilik Newtonsal kütleçekimin göremediği özellikleri açıklamıştı (bkz. ikinci bölüm). Gerçekten de kuramın başarısı, Einstein'ın yapabileceği değişiklikleri büyük ölçüde kısıtlıyordu; genel görelilikte yapılabilecek en ufak bir değişiklik bile Merkür'ün yörüngesine ilişkin öngörüleri ve Newtonsal kütleçekimin diğer gezegenlerin yörüngeleriyle uyumunu bozuyordu.

Einstein aradığı çözümü, modeline uzun menzilli, kütleçekimin kozmoloji için önem arz eden devasa mesafelerdeki doğal çekiciliğine karşı durabilecek ama Güneş sistemimizdeki cisimler arasındaki gibi görece kısa mesafelerde etkisi ihmal edilebilecek bir itici güç eklemekte buldu. Bu düzeltme, kendisini basit bir sayı, bir *sabit* olarak gösterecekti ve Einstein'ın alan denkleminin (bkz. ikinci bölüm) sağ tarafına *kozmolojik sabit* olarak bilinen adıyla eklendi. Böylelikle *Einstein'ın durağan evreni* olarak bilinen model ortaya çıktı.

Sonrasındaki analizler, bu modelin kararsız olduğunu, durağan ama genişleyen ve büzülen evrelerin, bıçak sırtında gibi dengede olduğunu gösterdi. Yani genişlemeye yönelik en ufak bir dürtükleme zamanla büyüyecek ve genişleyen evrene neden olacak,

aynı şekilde aksi istikamette ufacık bir dürtükleme de nihayetinde büzülen bir evrene yol açacaktı.

Ancak 1929 yılında Edwin Hubble ve Milton Humason evrenin gerçekten de genişlediğini ispatlayan gözlemlerle öne çıkınca (bkz. birinci bölüm), bunların hepsi kuramsal olarak kalacaktı. Einstein on iki yıl sonra haklı çıktığında, kendisiyle birlikte çok daha fazla takdir alacak bu çarpıcı kuramını halka sunmak için paha biçilemez bir fırsatı kaçırmıştı. Öyle ki, kozmolojik sabitten kendisi de hoşlanmadı ve genel görelilikten çıkararak bunu hayatının "en büyük hatası" ilan etti.

Ancak daha sonra göreceğiz ki, Einstein bugün hayatta olsaydı kozmolojik sabiti terk edişini hayatının ikinci büyük hatası ilan edebilirdi. Son yıllarda gerçekleştirilen detaylı astronomik gözlemler, kozmologların kozmolojik sabitin neredeyse kesinlikle uzayda yer edinmiş olduğuna ve içeriğindeki tüm maddenin çekici mahiyetteki kütleçekim kuvvetinin etkisi altında kalarak, evrenin büyük ölçekli genişlemesinin ağır ağır yavaşlamak yerine hızla artmasına neden olduğuna inanmaya mecbur bıraktı (devamı altıncı bölümde).

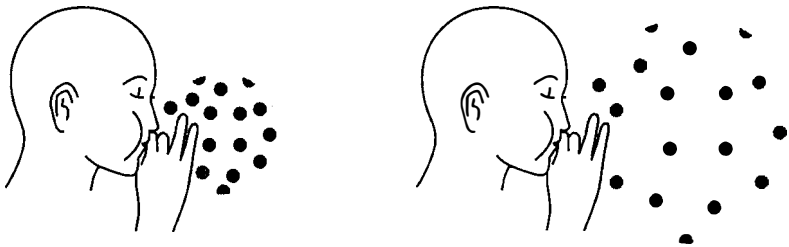
Genişleyen evren için Einstein denklemlerinin genel bir çözümünü Rus matematikçi Alexander Friedmann 1922 ile 1924 yılları arasında geliştirdi. Friedmann'ın çözümü, evrenin doğası hakkında kilit bir varsayıma dayanıyordu: Büyük ölçeklerde ele alındığında tüm yönlerde aynı olduğu ve uzay boyunca herhangi iki noktanın özelliklerinin genel itibarıyla benzer olduğu. Astronomik gözlemlere dayanarak biliyoruz ki, varsayımın ilk kısmı yaklaşık olarak da olsa doğru; bildiğimiz kadarıyla geniş ölçekli evrende maddenin genel dağılımı, hangi yöne baktığımızdan bağımsız olarak aynı. Ancak varsayımın ikinci kısmı gerçekten de varsayılıyor. Evrene dair bildiğimiz her şey, tek gözlem noktamız olan Dünya'dan topladığımız kanıtlara dayanmakta; evrenin başka bir yerden bakınca nasıl göründüğüne dair hiçbir doğrudan

ölçüm yok. ("Başka yerden" diyerek kastedilen kozmik ölçekte başka herhangi bir yer; örneğin başka bir gökada. Görece kısa mesafede olan Güneş sistemimizin sınırlarına sondalar göndermiş olduğumuz gerçeği durumu değiştirmiyor.)

Bu temel varsayım *kozmolojik ilke* olarak biliniyor çünkü bu olmaksızın kozmolojik çalışmalar mümkün olmazdı, yani evrenin davranışı ve doğası hakkında kuramlar üretemezdik. Bunun için, evrenin görebildiğimiz kısmının diğer her yerde de az çok aynı olduğundan emin olmalıyız, aksi halde kuramımızın nasıl bir şeyi modellemesi gerektiği hakkında bir fikrimizin olması mümkün değil. Bu, evreni algılayışımızın dayanıksız bir varsayıma dayandığı anlamına gelmiyor. Aslında ortaya çıkan kuramın varsayımları güvenilir kıldığı ve evrenin görebildiğimiz kadarını başarılı bir şekilde tanımladığına bakacak olursak temelleri büyük ölçüde doğru olmalı.

Kozmolojik ilke aslında Polonyalı astronom Nicolaus Copernicus'un on altıncı yüzyılda geliştirmiş olduğu ilkenin biraz genişletilmişi. Birinci bölümde gördüğümüz gibi, Copernicus gezegenimizi antik Yunan'da evrenin merkezinde olduğu o ayrıcalıklı konumundan alıp, yerine Güneş merkezli Güneş sistemi görüşünü koymuştu. Ona göre Dünya'da veya Dünya'nın evrendeki konumunda herhangi bir özel durum yoktu. Kozmolojik ilke daha da ileri giderek, evrenin hiçbir yerinde böyle imtiyazlı bir konum olmadığını öne sürüyor. Herhangi bir yer seçin; oradan bile gökyüzünün görünüşü diğer milyarlarca yerden görünüşüyle aynı olacaktır.

Friedmann'ın modeli doğal olarak bu temel varsayımın genel görelilik kuramına uygulanışından ve sonuçlarının matematiğinden besleniyordu. Bulguları Alman fizik dergisi *Zeitschrift für Physik*'te yayımlandı. Ancak bu bilinen bir araştırma dergisi olmasına rağmen makale diğer fizikçilerin çoğunun gözünden kaçmıştı. Friedmann 1925'te öldü. Ancak iki yıl sonra astronom Georges Lemaître aynı sonuçlara kendi başına yeniden ulaştı. O da pek



Bir balonun üstüne noktalar çizin ve balonu şişirin. Her noktanın bir diğerinden uzaklaştığını, genişlemenin bir "merkezi" olmadığını göreceksiniz. Aynı durum evrenin genişlemesi için de geçerli.

bilinmeyen bir Belçika dergisi olan *Annals of the Scientific Society of Brussels*'ta yayımladı. 1919'daki Güneş tutulması gözlemlerini ikinci bölümde anlattığımız ve genel görelilik kuramının doğrulanmasına katkıda bulunmuş olan Sir Arthur Eddington olmasaydı bu çalışma da hiç fark edilmeyebilirdi. Lemaître'in makalesini bulan ve önemini fark eden Eddington saygın bir yerde, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*'de yayımlanması için makaleyi elden geçirdi ve 1931 yılında hak ettiği yeri buldu.

Einstein'ın daha az detayla göstermiş olduğu gibi, Lemaître'in modeli genişleyen evrenle uyumluydu. Lemaître'in denklemleri evrenin genişlemesinde Hubble Kanunu'nu öngörmüştü. Bu sayede 1929 yılında Hubble, tamamen uzak gökadaların gözlemlerine dayanan kanununu duyurduğunda, Lemaître doğru yolda olduğunu biliyordu.

Modeldeki uzayın genişlemesi tam da adının ifade ettiği şekildedir: Uzay genişler. Genel görelilikte uzak gökadalar uzay *boyunca* birbirlerinden kaçışmaz; gökadalar uzayda sabittir ancak uzayın kendisi gittikçe büyür ve beraberinde gökadaları da taşır. Gökadaları biraz şişmiş bir balonun yüzeyine çizilmiş noktalar gibi düşünürseniz makul bir fikir edinebilirsiniz. Noktalar balonun üzerine çizildikleri için yerleri sabit olsa da balon şiştikçe gökadalar diğer tüm gökadalardan uzaklaşır.

Bazıları evren genişliyorsa neyin içine genişliyor diye sorar. Gündelik deneyimlerimize bakarsak, balon gibi bir şey şişirilerek genişlediğinde, etrafındaki hava gibi başka bir şeyin içinde genişler. O zaman aynısı evren için de geçerli olmalı, değil mi? Onun da bir şeyin içinde genişliyor olması gerekmez mi?

Aslında bildiğimiz kadarıyla evren hiçbir şeyin içinde genişlemiyor. Tüm var olan evren ve ötesinde başka bir şey yok. Uzay sadece daha da büyüyor, hepsi bu. Bu yanlış anlamanın nedeni az önce balonu şişirdiğiniz zaman sizin balonun "dışında" olmanızdan kaynaklanıyor; etrafını görebildiğiniz için siz onu şişirdikçe o büyüyor. Bunun nedeni şu: Biz üç boyutlu bir uzayda yaşıyoruz ama balonun yüzeyi sadece iki boyutlu. Tam tersine, söz konusu evren olduğunda, bu defa da "içinde" yer alıyoruz: Var olanın tamamı, genişleyen üç boyutlu uzaydan ibaret ve bildiğimiz kadarıyla bir "dışarısı" yok. Balonun genişleyen yüzeyinde emekleyen karıncalar gibiyiz. Karıncaların bildiği kadarıyla evren, balonun iki boyutlu yüzeyinden ibaret ve ötesi de yok. Karıncaların perspektifinden bakınca, evren 2B düz kauçuk bir tabaka olabilir: Balonun 3B "dışı"ndan veya eğriliğinden haberdar değiller (ta ki onca yolu yürüyüp tam bir turun sonunda başladıkları yere gelinceye dek). 3B balon, havanın içinde genişliyor olsa bile 2B yüzeyi öyle değil. Bu bizim için de geçerli. 3B uzayımız genişliyor ama uzayın dışında var olan ve uzayın onun *içinde* genişlediği daha çok boyutlu 4B bir uzay olduğuna dair bir kanıt yok, böyle bir uzaya gerek de yok.

Konuyla ilgili diğer bir soru: Uzay nerede bitiyor? Eğer bir sonu varsa ya da belki de daha doğru deyişle "kenarı" varsa, onun ötesinde ne var? Yine burada da yanlış anlama, evrenin bir "dışı" olduğu düşüncesinden kaynaklanıyor. İçinde yaşadığımız evrende uzay üç boyutlu ve bu üç boyutun ötesinde bir şey yok. Eğer olsaydı o zaman ötesinde ne var diye sorabilirdik. Ve soru zinciri böyle devam eder giderdi. Belki de uzay kendi etrafında bükülmüş, kenarları olmayan ama yine de sınırlı ve 3 boyutlu bir uzay

olan bir küreye benzemiştir. Ya da evrenin sonsuz büyüklükte olması daha olasıdır. Her durumda hiçbir kenarı yoktur ve ötesinde de bir şey bulunmaz.

Baktığımız her doğrultuda uzak gökadalar bizden hızla uzaklaşıyor. Her bir gökadaya doğru, onun hareketini gösteren bir ok çizecek olsanız, okların hepsi de bizim bulunduğumuz yerde kesişirdi. Diğer bir yanlış algı da bizim evrenin merkezinde olduğumuza dair yanlış algıdır. Ancak daha önce de tartışıldığı gibi, kozmolojik ilke nedeniyle durumun böyle olmadığını biliyoruz ve genişleme de bu gerçeği değiştirmiyor. Uzay her yerde aynı oranda genişliyor ve bu nedenle her gökada bir diğerinden uzaklaşıyor. Gözlem noktanızı evrenin neresinde seçerseniz seçin hep aynı şeyi, diğer tüm gökadaların sizden uzaklaştığını göreceksiniz; ister buradan gözlemleyin, ister Andromeda Gökadası'ndan, ister Ocak Kümesi'nin[1] merkezinin derinliklerine gömülü başka bir gökadadan.

Şişmekte olan balonun üstündeki karıncalar benzetmesine geri dönelim. Balonun üzerine gökadaları temsilen noktalar çizerseniz her bir noktanın diğerinden uzaklaştığını görebilirsiniz. Balonun yüzeyindeki bir karınca ise, balonun neresinde olduğundan bağımsız bir şekilde, balon genişledikçe her noktanın kendisinden uzaklaştığını görecektir. Balonun 2B yüzeyinin merkezi yoktur ve bu bizim evrenimiz için de tamamen aynı şekilde geçerlidir.

Diğer bir yanlış anlama da eğer uzay genişliyorsa gökadaların, gezegenlerin ve hatta insanların kozmik genişlemeyle uzadığını görmeyişimizdir. Bu sorunun birkaç cevabı var. Birincisi, uzak gökadalar zaten kozmik genişlemeyle uzaklaşıyorlar çünkü bunu yapabilirler. Onları durduran hiçbir kuvvet yok. Ancak evrenimizdeki daha küçük ölçekli cisimleri bir arada tutan kuvvet onların kendi kütleçekimidir. İnsanlar, kediler ve günlük hayattaki diğer

1 Fornax Cluster. (ç.n.)

birçok nesne, nihayetinde atomlar ve moleküller arasındaki elektromanyetik etkileşimlerin neden olduğu kimyasal kuvvetler sayesinde birbirine bağlıdır. Fiziksel cisimlerin uzayın genişlemesiyle birlikte uzamasına bu kuvvetler engel olur.

Kozmik genişleme o kadar aşırı derecede büyük ölçekli bir etki ki, diyelim ki vücudunuzu bir arada tutan elektromanyetik kuvvetleri sıfırlayacak bir düğme buldunuz ve kapattınız, bunu yapmanızı asla önermem ama yine de diyelim ki yaptınız, böylece küçük ölçekli cisimler genişleseydi bile, ancak çok ufak bir miktarda genişlerdiniz. Örneğin Hubble kanununa göre ayağınız kafanızdan saniyede metrenin dört milyar kere milyarda biri kadar uzaklaşırdı. Bu da demek oluyor ki ömrünüz boyunca evrenin genişlemesi, sizi sadece milimetrenin on milyonda biri kadar uzatırdı.

İkinci cevap ise aslında hepimizin bir miktar, uzayın genişlemesi nedeniyle değil ama genişlemeye neden olan kuvvet nedeniyle uzamamızdır (bkz. altıncı bölüm). Ortaçağda, kurbanların gerilerek işkenceye maruz kaldıkları gerginin üzerine yerleştirilecek kadar şanssız olduğunuzu düşünün. Belirli bir miktar kuvvet uygulandığında tüm eklemleriniz belirli bir miktar yerinden oynardı; ta ki vücudunuzu bir arada tutan kuvvetler yeniden dengeye erişene dek. Bu durumda siz de bir miktar uzamış olurdunuz. Bu, boyunuzu uzatmanız için size sadece bir kereliğine verilmiş bir şans, sürekli uzamazdınız (en azından sadist işkenceciniz gerilimi artırmaya karar verene kadar).

Lemaître'in genişleyen evrenimizi tanımlayan denklemleri kayda değer bir gelişmeydi. Ancak analizleri bir adım daha ileri götürdüğünde, gökadalar bugün birbirlerinden uzaklaşıyorlarsa zamanı tersine çevirdiğimizde ne olacağını sormamız gerektiğini fark etti. Eğer bunu yapabilseydiniz, gökadalar arasındaki mesafenin genişlemek yerine daraldığını, yani zamanla, yavaş yavaş birbirlerine yaklaştıklarını görürdünüz. Saatlerimizi geri almaya

devam edersek, zamanda tüm gökadaların bir arada olduğu, evrendeki tüm maddenin Lemaître'in *ilkel atom* dediği sıcak ve aşırı yoğun bir küreye büzülmüş olduğu noktaya geliriz. Bunu başlangıçtaki madde, enerji, uzay ve zamanın hepsinin gelişigüzel olarak içinden fışkırdığı ve evrenimizin içinden büyüdüğü tohum olarak düşünmüştü. Bu sayede de evrenimizin ezelden beri var olmak yerine aslında sonu olan bir geçmişte başlamış olabileceğini ilk defa bilimsel bir ciddiyetle öne süren kişi olmuştu.

Hubble ve Humason'ın gözlemleri bilim insanlarının bu anlık olayın ne kadar zaman önce gerçekleşmiş olabileceğine dair tahminlerde bulunmalarına da izin verdi ve böylelikle, her ne kadar ilk denemeler hedefi oldukça ıskalamış olsa da, evrenin yaşı hakkında bilgi dolu bir tahmin ortaya çıkmış oldu. Birinci bölümde özetlendiği gibi Hubble kanunu, evrenin genişlemesinin, ne kadar uzağa bakarsanız o kadar hızlı olduğunu ve bunun basit, doğrusal bir matematiksel ilişkiyle ifade edildiğini söyler: Genişleme hızı, uzaklığın bir sayı (Hubble sabiti) ile çarpılmasıyla elde edilir. Hubble ve Humason bulgularını 1929 yılında ilk yayımladıkları zaman, genellikle H harfiyle temsil edilen bu sabitin megaparsek başına saniyede 500 kilometre olduğunu tahmin ettiler. Parsek, astronomide kullanılan ve Dünya ile Güneş arasındaki ayrıklığın (yaklaşık 150 milyon kilometre) bir yaysaniyelik (derecenin 1/3600'da biri) açıya denk görüldüğü uzaklık olarak tanımlanan biraz dolambaçlı bir birimi. Bir parsek yaklaşık 3,26 ışık yılı ve megaparsek de bunun bir milyon katı. (Megaparsek, kozmologların genellikle evreni çok büyük ölçeklerde ölçerken kullandıkları uzaklık birimi. İleride "büyük ölçek" dediğim zaman kastettiğim türden mesafeler bunlar olacak.) Yani Hubble ve Humason'ın H değerine göre Samanyolu'ndan uzaklaştığınız her 3,26 ışık yılında evrenin genişleme hızı saniyede 500 kilometre artar. Bu, yaklaşık olarak her bir milyon ışık yılında saniyede 160 kilometreye denk gelir. Bu da bizden tipik bir gökada uzaklığı olan 5 milyon ışık yılı

ötede bir gökadanın saniyede kabaca 800 kilometre hızla uzaklaşacağı anlamına gelir.

Peki bunun evrenin yaşıyla ne ilgisi var? Kütleçekimini şimdilik yok sayar ve evrenin doğduğundan beri aynı hızla genişlediğini kabul edersek, Lemaître'in denklemleri, evrenin yaşının 1/H olduğunu söyler. Bu sayede, evrenin yaşının kabaca iki milyar yıl olduğunu tahmin edebiliriz. Diğer bir şekilde, eğer gökadaların zamana karşı uzaklıklarını bir grafiğe çizecek olursanız, kütleçekiminin olmadığı durumda grafiğin düz bir çizgi olduğunu görürsünüz ve geçmişe doğru hesaplama yaparsanız gökadalar arasındaki ayrıklığın yaklaşık iki milyar yıl önce sıfır olduğunu bulursunuz.

Ya da en azından Hubble ve Humason'ın H'yi bulmak için uyguladıkları ilk yöntemi kullanmış olursunuz. Aslında onların buldukları tahmini yaş, gökadaların uzaklıklarını belirlemedeki sistematik hatalar nedeniyle feci şekilde yanlıştı ve bugünkü tahminlerin yaklaşık yedide biri kadardı (bkz. birinci bölüm). Bu uzaklıklar Cepheid türü değişen yıldızların parlaklık ölçümlerinden hesaplanmıştı (yine birinci bölümde anlatıldığı gibi) ve hataların nedeni Cepheid türlerinin yanlış sınıflandırılması ve hidrojen gazı parlamalarının yıldız zannedilmesiydi.

Ayrıca bu yöntem sadece evrenin yaşı için bir üst sınır belirlememize yardımcı olabilir, gerçek yaşı kütleçekim nedeniyle daha az olacaktır. Kütleçekim etkisinin genişlemeyi yavaşlatıcı yönde olması, evrenin geçmişte daha da hızlı genişliyor olduğu anlamına gelir ve böylece daha kısa bir süre içinde günümüzdeki halini almıştır. Gökadalar arası ayrıklığın zamanla değişimini 82. sayfadaki grafikte görebilirsiniz. Evren ilk zamanlarda grafiği aşağı doğru eğecek şekilde davrandığı için, kütleçekimin yokluğu durumunda olacağından daha gençtir. Modern tespitlere göre evrenimizin gerçek yaşı 13,8 milyar yıldır.

Daha önce gördük ki gözlemlenebilir evren, yani görebildiğimiz uzay küresi veya diğer bir deyişle Büyük Patlama'dan beri ışı-

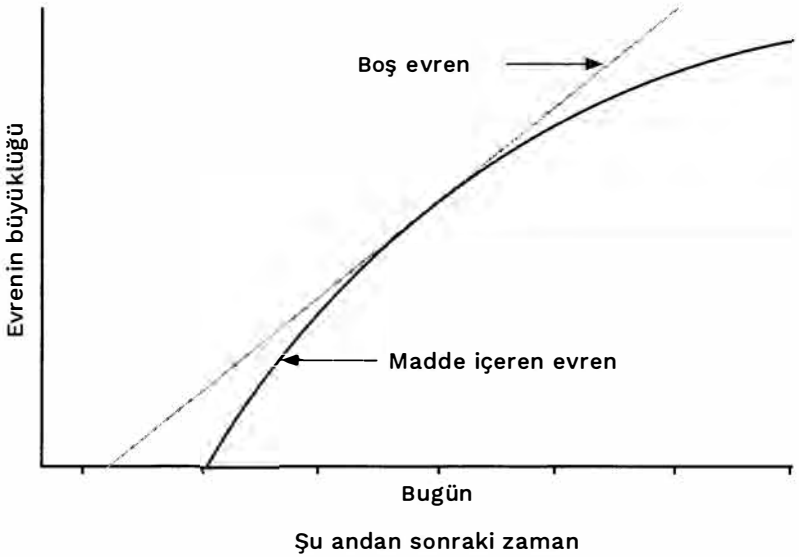
ğın bize gelmek için harcadığı zaman, şimdilik yaklaşık 46 milyar ışık yılı yarıçapındadır. Bazen ortaya çıkan bir soru da şudur: Hiçbir şey ışıktan hızlı gidemiyorsa nasıl oluyor da gözlemlenebilir evrenin yaşı ancak 13,8 milyar yılken evren bu kadar büyük olabiliyor? Çok uzaktaki cisimlerden gelen ışık bize ulaşacak zamanı nereden buldu?

Eğer uzay durağan ve genişlemiyor olsaydı bu iddia geçerli olabilirdi. Ancak evrenin genişlemesi demek oluyor ki bugün bizden bu kadar uzak olan cisimler ışıklarını yaydıkları zamankinden çok daha fazla ötedeler. İşte bu nedenle gözlemlenebilir evren, evrenin doğumundan bu yana ışığın katettiği mesafeden çok daha büyük olabilir.

Evrenimizin doğumunu içeren ilk kayda değer bilimsel kuramı öne sürmüş olmasının yanı sıra, evrenin evrimine ve nihai kaderine dair ilk ciddi tahminleri de Lemaître ortaya koymuştur. İkinci bölümde gördüğümüz gibi uzayın düz olmadığı ama genellikle içerdiği madde ve enerjiye göre şekillenen farklı eğriliklerde olabileceği, Einstein'ın genel görelilik kuramının bel kemiğini oluşturuyordu. İşte bu eğrilik de bizim ve evrendeki diğer her şeyin kütleçekimi olarak tecrübe ettiğimiz şeyin ta kendisi. Lemaître, bunun kozmolojide nasıl sonuçlar doğuracağını araştırmak için yeni modelini kullandı ve evrenin şekli ve uzun vadeli davranışına dair üç farklı olasılık tanımlayabildi.

Bunlar "kapalı", "açık" ve "düz" evrenler olarak bilinir. Kapalı evren küresel yapıda ve sonludur: Tek bir yönde yeterince ilerlerseniz nihayetinde başladığınız yere varırsınız. Diğer yanda, açık evren sonsuzdur ve kütleçekimin etkisiyle dev bir Pringles'a ya da semere benzer. Bu iki olasılık arasında da düz evren yer alır. O da sonsuzdur ancak kütlesi ve enerjisinin, uzayın eğriliğini büyük ölçekte yani megaparsekler boyunca sıfırladığı düşünülür.

Kozmologlar bu olasılıkları evrendeki ortalama madde ve enerji yoğunluğuna göre sınıflandırır. Düz evren, uzayın genişlemesini



Evrenin yaşı, yatay eksendeki "bugün"den eksenin büyüklüğünün sıfır olduğu yere kadar geçen zamandır. Kütleçekimsel maddeden yoksun olan, sabit hızla genişleyen bir evrenin varsayılan yaşı, genişlemeyi yavaşlatan kütleçekimsel maddeye sahip bir evrenin yaşından daha büyüktür.

durdurmaya ancak yetecek miktarda, yani *kritik yoğunluk* adı verilen miktarda malzeme içerir; fakat sonsuz uzak bir gelecekte evrenin genişlemesini gitgide yavaşlatır ve kademeli olarak durdurmaya yaklaşır. Uzayda kritik yoğunluktan daha fazla malzeme olduğunda elde ettiğimiz şey kapalı evrendir. Sonlu bir süre içinde kozmik genişlemeyi durdurmaya ve yeniden kendi içine büzülmeye başlamasına yetecek kadar kütleçekimine sahiptir. Öte yandan, ortalama yoğunluk kritik değerden az olduğunda da açık bir evren ortaya çıkar. Bu da, düz evren gibi sonsuza dek genişler.

Kritik yoğunluğun değeri aşırı derecede küçüktür: Metreküp başına kilogramın on milyarda birinin milyarda birinin milyarda biri kadardır (yaklaşık on hidrojen atomu kütlesinde). Evrendeki tüm madde ve enerjinin devasa katkısı, uzayın uçsuz bucaksızlı-

ğında ölçümü neredeyse ölçülemeyecek kadar seyreltilmiş olduğu için ortalama değer bu kadar küçüktür.

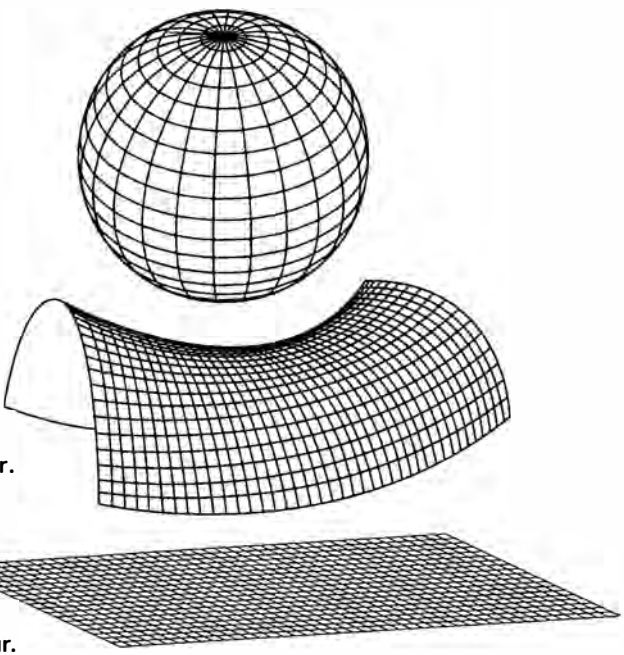
Evreni büyük ölçekte tanımlayan Einstein denklemlerinin çözümü ilk defa Friedmann tarafından yazılmış, daha sonra Lemaître tarafından yeniden keşfedilmiş ve 1930'larda Amerikalı Howard Robertson ve İngiltere'deki Arthur Walker adlı iki matematikçi tarafından düzenlenmişti. Bunun Einstein'ın genel görelilik denklemlerinin kozmolojik ilkeyle uyumlu tek çözümü olduğunu kanıtladılar. Katkıları nedeniyle bu çözüm günümüzde Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW) kozmolojik modeli olarak anılmakta ve evrene dair çoğu matematiksel çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Lemaître'in, evrenin belirli bir başlangıcının olabileceğini kabaca göstermesinin ardından, Britanyalı teorik fizikçi Roger Penrose ve Stephen Hawking *tekillik kuramları* olarak bilinen çalışmalarında bunu detaylı matematiksel temeller üzerine yerleştirdiler.

Stephen Hawking 8 Ocak 1942'de Galileo'nun ölümünün üç yüzüncü yıldönümünde Oxford'da dünyaya geldi. Her iki ebeveyni de Oxford'da eğitim görmüştü: Annesi Isobel felsefe, politika ve ekonomi üzerine çalışmış; babası Frank ise tıp okuduktan sonra tropik hastalıklar üzerine uzmanlaşmıştı. Hawking sekiz yaşındayken babasının işi nedeniyle ailece St. Albans'a taşındılar. Orada, Britanya'nın en eski bağımsız okullarından biri olan St Albans Okulu'na kayıt oldu ve bilime olan ilgisi de buradaki matematik öğretmeni Dikran Tahta sayesinde ortaya çıktı. Hawking 1959 Ekim'inde beklendiği üzere Oxford'da University College'da okudu, ancak oğlunun kendisini tıp alanında takip etmesini isteyen babası Frank'in umduğunun aksine fizik ve kimyayı tercih etmişti. Hawking yetenekli ama tembel bir öğrenciydi ve sıra mezuniyet sınavlarına geldiği zaman notları hep sınırlarda olduğu için sözlü sınava girmesi gerekmişti. Sınavda gelecek planlarının ne olduğu sorulduğunda üst düzey ortalamayla mezun olabilirse ilk tercihi-

nin kozmoloji üzerine doktora çalışması yapmak için Cambridge'e gitmek olduğunu, aksi halde Oxford'da kalacağını belirtti. Yeterince yüksek bir ortamayla mezun edildi.

Hawking ünlü kozmolog Dennis Sciama danışmanlığında doktora çalışmalarına başlamak üzere Ekim 1962'de Cambridge, Trinity Hall'e gitti. Bir yıl sonra burada, yürüme ve ardından konuşma kabiliyetini de kaybetmesine neden olacak ALS (Amyotrofik Lateral Skleroz) teşhisi konuldu. Teşhisin ardından büyük bir bunalıma giren Hawking çalışmalarına ara verme noktasına gelse de Sciama onu devam etmeye ikna etti ve çalışmalarının benzer



Genel görelilik evrene bir bütün olarak uygulandığında büyük ölçekli yapısına dair kapalı, açık ve düz evrenler olmak üzere üç olasılığı ortaya çıkarır.

yönde ilerlediğini fark ettiği matematikçi Roger Penrose'la iletişime geçmesini sağladı.

1931'de İngiltere, Colchester'da doğan Penrose, Hawking'den büyüktü. 1957'de tamamladığı, cebirsel geometri alanındaki soyut matematiğin geometrik problemlere uygulanması üzerine doktora çalışması için Cambridge'e taşınmadan önce University College London'dan yüksek ortalamayla mezun olmuştu. Penrose'un fiziğe, özellikle de kozmolojiye olan ilgisi, sıklıkla geniş çevreli Sciama ile yaptıkları toplantılardan esinlenerek tam da bu zamanlarda baş göstermişti ve cebirsel geometrideki kabiliyeti, Einstein'ın genel görelilik kuramındaki eğri uzay ve zaman üzerine çalışmalar yapmak için uygun kişi olduğunu ispatlamış oldu. 1964 yılında Penrose, Londra'daki Birkbeck College'a geçti ve doçent olarak çalıştığı iki yılın ardından daimi kadroya geçerek profesörlüğünü garantiledi.

Penrose, 1965 yılında genel göreliliği kullanarak, çok büyük bir yıldızın ömrünün sonuna geldiğinde, tekillik olarak bilinen sonsuz yoğunlukta bir noktaya neden çökmek zorunda olduğunu ispatladı. Tekillik durumunda fiziğin tüm kuralları yıkılır ve bu noktadaki her şey için, kelimenin gerçek anlamıyla, zamanın sonu gelmiş demektir.

Işığın bile kaçmasına izin vermeyecek kadar şiddetli bir kütleçekime sahip yoğunluktaki böylesi bir cisimden "karadelik" olarak bahsedebiliriz. 1930'ların sonlarında karadeliklerin, kendi kütleçekimi altında çökerek ölen bir yıldızın olası sonlarından biri olduğu öne sürüldü. Esasında bir gaz küresi olan yıldızda çok miktarda ısı üreten çekirdek tepkimeleri, bu gazı ısıtarak basınç oluşumuna sebep olur ve böylece yıldıza destek olarak çökmesini engeller. Ancak yıldızın nükleer yakıtı bittiğinde ömrünün sonuna gelmiş olur. Isı kaynağı ortadan kalkan yıldızın iç basıncı düşer ve büzülmeye başlar. Ama nasıl bir şeye dönüşür?

Başlangıçta, merkezinde tekillik olan bir karadeliğin oluşabil-

me olasılığı, matematiksel olarak sadece çok özel bir koşul olan, yıldızın hiçbir çıkıntı veya girintisi ya da düzensizliği olmayan kusursuz bir küre olması durumu için ispatlanmıştı. Ancak sonrasında, maddenin fiziksel yoğunluğunun gerçekten de sonsuz olabileceği görüşü şüphe uyandırdı. Penrose yeni çalışmasında, zayıf bir varsayımdan yola çıkarak, çökmekte olan yüksek kütleli bir yıldızın, pürüzsüz ve küresel olmasa bile karadelik içinde hapsolan kendi kuvvetli kütleçekimi nedeniyle bir tekillik oluşturma zorunluluğu bulunduğunu ispatladı. Karadeliğe düşen hiç kimsenin veya hiçbir şeyin, tekilliğe ulaşmaktan ve varoluşunun paramparça olmasından kaçışı yok.

Hawking'in dehası, Penrose'un çöken yıldızı ile Lemaître'ın genişleyen evreni tersine döndürmesi arasındaki benzerliği fark etmesinde yatıyordu. Gökadalar, aralarındaki uzaklık sıfırlanınca eninde sonunda üst üste gelecek ve birleşecek, oluşan yıldızların kütleleri gittikçe artacak ve arttıkça da evren, tıpkı ölmekte olan bir yıldız gibi, kütleçekimin etkisiyle kendi üstüne çökerek büzülecekti. Tüm evrene uygulandığı zaman işin matematiği biraz daha karmaşık olsa da Hawking yine çok makul varsayımlar altında bu son ürünün bir tekillik olması gerektiğini kanıtlamayı başarmıştı. Hawking'in hesaplamaları, zaman yeniden ileriye doğru aktığında, genel görelilikte tanımlandığı gibi kütleçekim etkisi altında hareket ederek genişleyen evrenin bir tekillik olarak başlamak zorunda olduğunu gösteriyordu. Nasıl ki karadeliğin kalbindeki tekillik, içine düşen her şey için zamanın sonu demekse, Lemaître'in ilkel atomundaki tekillik de zamanın doğumu ve her şeyin başlangıcı demek oluyordu.

Hawking'in evren için geçerli tekillik kuramı aynı zamanda Büyük Patlama'ya ilişkin sıkça sorulan bir soruyu da cevaplıyordu. Birçok kişi evrenimizin uzayının ötesinde ne olduğunu bilmek isterken (ve bunun cevabı, yukarıda gördüğümüz gibi "kesinlikle hiçbir şey"), kimileri de evrenimizden önceki zamanda ne oldu-

ğunu merak ediyordu, yani Büyük Patlama'dan önce ne olmuştu? Evrenimiz yaratılmadan önce orada ne vardı? Aslında, bildiğimiz kadarıyla yaratılışın "önce"sinde ne olduğunu konuşmanın bir anlamı yoktur. Hawking'in kuramı, evrenin hiçbir fizik kuralının geçerli olmadığı tekillik günlerinden başlamasını gerektiriyordu. Gerçekten de genel görelilik, fizikte kendi kusurunu öngören tek kuram olması bakımından da eşsizdir. Sonuçta ortaya çıkan şey ise, zamanı Büyük Patlama'nın tekilliğine ve onun da ötesine doğru, tersine ilerletmenin imkânsız olduğu. Hawking bunu ispatlayarak Büyük Patlama'nın sadece üç boyutlu uzayın değil, aynı zamanda zamanın da başlangıcı olduğunu göstermiş oldu. Büyük Patlama'dan öncesini düşünmek, "zaman" olmadığı için imkânsızdır. Bazı kozmologlar bunu, kuzey kutbunun kuzeyinde ne olduğunu sormaya benzetir çünkü oradan nereye giderseniz gidin sadece güneye gidiyor olabilirsiniz.

Tabii ki genel göreliliğin kendi kusurunu öngörmesi, onun evrenin ilk anları olan Planck dönemi boyunca geçerliliği olan doğru bir kütleçekim kuramı olmadığı anlamına da gelebilir. Bir kütleçekim kuramı olan genel görelilik, evrendeki büyük ölçeklerde geçerli olsa da evren, tıpkı Planck döneminde olduğu gibi maddenin atomaltı parçacıkları boyutundayken, atomaltı parçacıkların fiziği olan kuantum fiziğine boyun eğmek zorundadır. Bu nedenle fizikçiler, Büyük Patlama'nın tekilliğinin kalbindeki genel göreliliğin yerini kütleçekiminin yeni bir kuramına, tekilliği gideren ve maddenin yoğunluğunu sonlu düzeyde tutarak fiziğin çökmesine engel olan kuantum kuramına bırakmasının daha olası olduğunu düşünüyor. Böylesi bir kuram kozmologların bir gün Büyük Patlama'dan önce ne olduğunu sormasını mümkün kılabilir. Ancak asıl umut edilen, bu kuramın doğru şekli bulunduğu zaman, evrenin ortada hiçbir şey yokken nasıl birdenbire var olduğunu açıklamaya yardımcı olabilmesidir. Buna onuncu bölümde yeniden değineceğiz.

1940'larda Büyük Patlama'nın bu kuramsal destekçisi ve tabii ki kuram için gerekli deneysel kanıtın büyük bir kısmı da henüz ortada yoktu. Ancak herkes evrenin Lemaître'in önerdiği şekilde işlediğine ikna olmuş da değildi. En çok sesi çıkan eleştirmenlerden biri Britanyalı astrofizikçi Fred Hoyle'du. Arkadaşları Hermann Bondi ve Thomas Gold'la birlikte *Durağan Hal Kuramı* olarak bilinen rakip bir model geliştirmişlerdi. Uzay her zaman sabit bir hızda genişliyordu yani bu senaryoda evrenin bir başı veya sonu yoktu. Hoyle ve arkadaşları, maddenin sürekli üretilmesi ve böylece sürekli yeni gökadalar oluşması durumunda bunun mümkün olduğunu gösterdiler. Böylelikle evrenin kütle-yoğunluk değeri uzay genişlese bile (normalde genişleme maddenin yoğunluğunu azaltır) sabit kalıyordu. Madde miktarı zamanla artıyorsa, yani madde üretiliyorsa, Lemaître'in evrenin genişlemesini tersine çeviren düşünce deneyi de ortadan kalkmak zorunda kalır. Bu da kütleçekimin aşırı güçlü olmasını engelleyerek tekilliğin oluşumunu ortadan kaldırır, yani Durağan Hal'deki evrende zamanın bir başlangıcı yoktur.

Her ne kadar "hiçbir şeyden" madde yaratmak gerçek dışı gibi gelse de, aslında aynı şey Lemaître'in modeli için de gerekliydi. Altıncı bölümde göreceğimiz gibi, boş uzaydan madde ortaya çıkarmak, atomaltı parçacıkların mikroskobik dünyasını ve bunlar arasındaki kuvvetleri düzenleyen, kuantum kuramında görülen birçok garip etkiden biri. Gerçekten de çok küçük şeylerin fiziğinin, evrende ve evrenin büyük ölçeklerdeki davranışında belirgin bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkacaktı.

Tekillik kuramlarını ortaya çıkaranlardan biri olan Hawking, daha sonra fizikteki ısı algısını şekillendiren temel ilkelerden biri olan termodinamiğin ikinci kanununa ters düştüğünü işaret ederek Durağan Hal Kuramı'na karşı çıkacaktı. Buna göre evrenin *entropi*si zamanla sürekli artmalıydı. Entropi, fiziksel bir sistemdeki düzensizlik seviyesini tanımlamak için fizikçilerin kullandığı bir terimdir. Örneğin bu satırları yazarken oturduğum masanın çok

yüksek bir entropisi var; bir yığın kitap, kâğıt, kahve fincanları, oğlumun bıraktığı oyuncaklar ve çeşitli öteberinin hiçbirinin belirli bir düzeni yok. Kâğıtları düzgün bir şekilde üst üste koyabilir, kitapları ait oldukları raflara yerleştirebilir, eşyaları çekmecelere kaldırabilir, kahve fincanlarını yıkayabilir ve böylece masanın yeniden düşük bir entropi seviyesine ulaşmasını sağlayabilirim. Ancak zamanla bu dağınıklık yeniden oluşuyor ve entropi yeniden düzenli bir şekilde artıyor. Aslında çok hoş olurdu ama bunun aksini, yani gelişigüzel hareketlerle ve günlük kullanımımla masamın kendiliğinden daha düzgün hale geldiğini şimdiye kadar hiç görmedim. Hayır, entropi hep artıyor ve termodinamiğin ikinci kanunu da bunu söyler.

Hawking, entropi sürekli artmak zorundaysa (evren gerçekten de Durağan Hal Kuramı'nın öngördüğü şekilde ezelden beri varsa) artık sonsuz derecede bir düzensizlikle, madde ve ışınımın uzayda gelişigüzel dağılmış olması ve katiyen gökadalar, yıldızlar ve gezegenler gibi düzgün bir şekilde organize olmaması gerektiğini iddia etti.

Durağan Hal Kuramı'nı sonraki bölümde göreceğimiz gibi, gözlemsel kanıtlarını değersizleştirecek çok daha beter şeyler bekliyordu. Ancak yine de kozmolojiye son bir katkısı daha oldu. 1949 yılında BBC Radyo'ya verdiği bir röportajda kuramını savunan Hoyle, evrenin "Büyük Patlama" diye tabir ettiği şekilde başladığına inanmadığını söyledi. Kimileri niyetinin dalga geçmek olduğunu öne sürdü ancak Hoyle bunu inkâr etti. Niyeti her ne olursa olsun kuramın adı böyle kalmıştı.[1]

1 Hoyle'un röportajda karşı çıktığı kuramı dalga geçercesine basit bir isimle adlandırmak için kullandığı "Büyük Patlama" (Big Bang) tabiri daha sonra röportajın BBC Dergi'de yayımlanması ve Hoyle'un da yıl boyunca verdiği seminerlerde kuramdan hep bu şekilde bahsetmesiyle beraber zamanla toplum da bu ismi benimsemiş ve kuramın adı Büyük Patlama olarak kalmıştır. Kaynak: https://www.joh.cam.ac.uk/library/special_collections/hoyle/exhibition/radio (ç.n.)

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Çift Dumanlı Namlu

"Sıradışı iddialar sıradışı kanıtlar gerektirir."

Carl Sagan

1940'lara gelindiğinde fizikçiler ve astronomlar, evrenin davranışını tanımlayan detaylı matematiksel modellere ulaşmayı başarmıştı. Kâinatın kökeni, evrimi ve nihai kaderine ilişkin bu ilk bilimsel kuramlar, kozmoloji olarak bilinen bilim dalını ortaya çıkarmıştı.

Titizlikle formüle edilen modeller fizik kanunlarına (özellikle de Einstein'ın genel görelilik kuramına) dayandırılmıştı ve bunların tamamen elenebilmesi ya da değişkenlerine sınırlamalar konmasına imkân vermesi için, gerçek evren gözlemleriyle kıyaslanabilen, güvenilir, niceliksel öngörülerde bulunuyorlardı.

Bilimsel yöntemin çalışma şekli budur. Bilim insanları önceki gözlemlerine, eğitimle şekillenmiş tahminlere veya kimi zaman da sadece önsezilerine dayanarak hipotezler üretirler. Sonra bu hipotezler sınanabilir öngörüler sunacakları bir hale getirilir. Son olarak, öngörüleri sınamak için sonuçları istatistiksel olarak analiz edilebilen, kuramı iyileştirmek veya kimi zaman tamamen reddetmek için kullanılabilen deneyler (ya da söz konusu kozmoloji olduğunda genellikle astronomik gözlemler) tasarlanır. Sonra bu süreç tekrarlanır, her tekrar bilim insanlarını gerçekliğin esas do-

ğasını anlamaya bir adım daha yaklaştırır.

Olumsuz bir deneysel sonuç nedeniyle kuram tamamen terk edilebilir ancak kabul edilmesi için, en azından yüzde yüz kesinlikle kabul edilebilmesi için, tek bir deneyin yeterli olduğu çok nadirdir. Örneğin gökyüzünün salı günleri yeşil olacağını tahmin eden bir kuram öne sürebilirim. Çıkıp gözlem yaptığım ilk salı günü, muhtemelen gökyüzünün yeşil olmadığını görürüm ve sonuçta kuramımı bilimsel çöp sepetine atmak zorunda kalırım. Peki, öte yandan, ya kuramım gökyüzünün salı günleri *asla* yeşil olmayacağını söylerse? Her ne kadar ilk gözlemim kuramla uyumlu olsa da yine de onu *kanıtlamış* sayılmaz, çünkü gelecek salı gökyüzü yeşil olabilir. Eğer her salı günü gökyüzünün rengini kaydetmeye devam edersem, her şeyin normal şartlarda devam ettiğini varsaydığımızda, kanıtlar biriktikçe kuramım gitgide kuvvetlenir ama yine de yüzde yüz kesinlikle gökyüzünün bir salı günü asla ve asla (iki yüz milyon yılda bir bile olsa) yeşil olmayacağını söyleyemem.

Üçüncü olasılık, gökyüzünün salı günleri zamanın sadece belirli bir kısmında yeşil olabileceğidir. İlk tahminim zamanın sadece yüzde onu olsun; yani her salı çıkıp gökyüzüne baktığımda yeşil görme ihtimalim onda birdir. Haftalar geçip de hiç yeşil gökyüzü görünmeyince bu oranı azaltan değişiklikler yapmaya başlayabilirim. Matematiğin, verileri en iyi nasıl yorumlamamız gerektiğini söyleyen dalı olan istatistik, farklı değerlerin ne kadar olası olduğunu ortaya koyuyor. Yani örneğin istatistik, ilk hipotezimdeki salıların gerçek oranının yüzde on olduğu durumda, bir yılın elli iki salısının hiçbirinde yeşil gökyüzü görmeme şansımın yüzde yarımdan az olduğunu söyler. Bu durumda kuramımın mevcut haliyle doğru olması pek de olası değildir ve bu oranın değerini azaltan bir değişiklik yapmam gerekir. Örneğin bu başlangıç değerini %10'dan %1'e düşürdüğümde, hiç yeşil olmayan salıların yıllık olasılığı %60'a yükselir. Diğer bir deyişle, kuramda gökyüzünün herhangi bir salı günü yeşil olma ihtimalini azaltırsam, bütün bir

yıl boyunca neden bir kez olsun bunun gerçekleşmediği daha iyi açıklanabilir. Nihayetinde gerçekleşme ihtimali %60 olan şeyleri her zaman görüyoruz, yani bu telaşlanmak için büyük bir neden değil, en azından şimdilik. İşte bu bir kuramın (bu örnekte gökyüzünün yeşil olduğu salıların oranı) değişkenlerinin, gözlemsel kanıtlara göre nasıl düzenlendiğinin bir örneğidir.

1940'lar ve 1950'lerin başlarında, evrenimizin doğasını doğru bir şekilde açıklamak için yarışan iki ana kozmolojik kuram vardı. Birincisi Büyük Patlama modeliydi. Önceki bölümde gördüğümüz gibi bunun öncüleri olan Georges Lemaître, Alexander Friedmann ve diğerleri, evrenin sıcak ve yoğun ilkel bir atom halinde, madde, enerji, uzay ve zamandan oluşan kozmik bir ateştopu gibi ortaya atıldığını ve soğuyarak bugünkü evreni oluşturduğunu söylüyorlardı. Evren, bu önemli başlangıçtan beri bugün hâlâ genişlemekte olduğu için, gökadalar arası uzay büyümekte ve astronomlar uzak gökadaların bizden hızla uzaklaştığını görmekteler.

Durağan Hal Kuramı adıyla anılan diğer model, Fred Hoyle ve arkadaşları tarafından geliştirilmişti. Büyük Patlama, varoluşundan bugüne kadar kaderi bir nebze bilinen şekilde evrilen, dinamik bir evren ortaya atmışken, Durağan Hal Kuramı evreni ebedi dengede tanımlamıştı. Evren hep vardı ve hep var olacaktı. Önceki bölümde Büyük Patlama Modeli'nin, evrendeki herhangi bir bakış noktasından hangi doğrultuya bakarsak bakalım, tüm uzayın kabaca aynı olduğunu belirten kozmolojik ilke üzerine nasıl yerleştirildiğini gördük. Hoyle, Durağan Hal Kuramı'nı, mükemmel kozmolojik ilke olarak adlandırdığı şeyin somutlaşmış hali olarak tasavvur etti - evrenin sadece herhangi bir yerden değil, aynı zamanda herhangi bir zamandan da bakıldığında aynı göründüğü, genel özelliklerinin sabit ve değişmez olduğu fikri.

Durağan Hal Kuramı evrenin Büyük Patlama Modeli'nin önerdiği yaşının uygunsuzluğundan yola çıkmıştı. Gökadaların birbirlerinden ne kadar hızla uzaklaştığını bildikten sonra kozmik

genişlemeyi tersine çevirerek aralarındaki mesafenin ne kadar zaman önce sıfır olduğunu bulabilirsiniz. Bu, Hubble ve Humason'ın genişleme oranına dair ilk tahminleri (bkz. birinci bölüm) kullanarak yapıldığında evrenin yaşı iki milyar yıl civarında olmalıydı ama bunun, Dünya'daki en eski taşların (radyoaktif yaşlandırmayla bulunan sonuca göre yaklaşık dört milyar yıl) ve Samanyolu gökadamız etrafında dolanan en eski kümesel yıldız kümelerinin yaşından (güvenilir yıldız evrimi kuramıyla bulunan sonuca göre yaklaşık on milyar yıl) daha küçük olması bir paradoks oluşturuyordu.

Sonrasında, daha doğru astronomik ölçümler, kozmik genişleme oranının Hubble ve Humason'ın ilk tahmininden daha yavaş olduğunu ortaya koyacaktı. Böylelikle yavaş genişleyen bir evrenin bugün gözlenen büyüklüğe gelmesi daha uzun süreceği için, evrenin yaşına dair en iyi tahminimiz, en eski kayaların ve yıldız kümelerinin yaşlarıyla tutarlı hale geldi. Ancak 1940'lı yıllarda, evrenin yaşının bileşenlerininkinden bariz ölçüde daha genç olması Büyük Patlama kozmolojisi için büyük bir problemdi ve Durağan Hal Kuramı'nı çekici bir seçenek haline getiriyordu.

Ama sayılı günü vardı. 1950'lerde astronomlar büyük miktarda radyo dalgaları yayan, bizden aşırı uzak mesafelerdeki gökadaları gördüklerinde ilk çatlaklar belirmeye başladı. Büyük mesafeler ancak gökadaların antik kozmik geçmişte var olduklarını söylüyordu çünkü ışıklarının böylesi uçsuz bucaksız mesafelerden geçip bize ulaşması için geçen zaman, astronomların onları ancak çok eski bir zamandaki halleriyle gördüğü anlamına geliyordu. Bu gökadalar ya çoktan ölmüşlerdi ya da basitçe sönükleşerek yakınlarda görülen radyo-sessiz gökadalara evrimleşmişlerdi. Her durumda bu Büyük Patlama ile uyumlu bir dinamik evren fikrini öne sürüyordu ancak bir kozmik dönemden diğerine değişmeden kalan "durağan hal" fikrine tamamen ters düşüyordu. Öte yandan Hoyle'un modelinin başına geleceklerin en kötüsü henüz gerçek-

leşmemişti. Büyük Patlama'nın galibiyetini ilan edecek iki temel bilimsel kanıt ortaya çıkmak üzereydi.

Bunların ilki evrenin kimyasal bileşiminin gözlemleri üzerine kurulmuştu. Rusya doğumlu fizikçi George Gamow ve Amerikalı Ralph Alpher, evren eğer gerçekten de Büyük Patlama ile başladıysa, içindeki aşırı ısıtılmış başlangıç sıcaklığının tablolarda eksik olduğunu fark ettiler. Gamow, bazı kararsız atom çekirdeklerinin nasıl kendiliğinden parçalandığını tanımlayan radyoaktif bozunma süreçlerini destekleyen kuramın büyük kısmını 1920'li yıllar boyunca geliştirmişti. Benzer ilkeleri uygulayarak, Büyük Patlama'nın sıcak alevlerindeki atom çekirdeğinin oluşumunu açıklamayı denemek üzere öğrencisi Alpher'le birlikte kolları sıvadı.

Ve gerçekten de sıcaktı. Büyük Patlama'nın "patlama"sından sonraki saniyenin on binde birinde, evren 10.000 milyar santigrat derecede kavruluyor olmalıydı. İlk saniyeden sonra bile sıcaklık hâlâ 10 milyar dereceydi, on saniye sonra ise 1 milyar derece. Çekirdek birleşme tepkimeleri ilk kimyasal elementlerin yapıtaşlarını bu aşırı ısıda pişireceklerdi. Büyük Patlama Kuramı'nın niceliksel öngörülerini bu elementlerin göreli bollukları oluşturdu. Gamow, astronomik gözlemlerin aksine, bunların test edilebilir olduklarını fark etmişti.

Çekirdek birleşmesi, Güneş'in ve diğer tüm yıldızların içinde kullanılan güç kaynağıdır. Atomun kalbinde yer alan çekirdek başka bir çekirdeğe yüksek hızla öyle bir şiddetle çarpar ki birleşerek yeni, daha ağır bir atom çekirdeği oluştururlar. Atom çekirdeği pozitif yüklü parçacıklar olan protonlar ve yüksüz parçacıklar olan nötronlardan oluştuğu için genel itibarıyla pozitif yüklüdür. Kısa mesafelerde parçacıklar çekirdek kuvvetleriyle bir arada tutulurlar ama uzun mesafelerde pozitif elektriksel yüklerin birbirlerini itmesi nedeniyle çekirdekler ayrık durur; tıpkı statik elektriğin saç tellerinizin dikilmesine neden olması gibi.

İki atom çekirdeği arasında kaynaşma gerçekleşmesi için bir-

ötede bir gökadanın saniyede kabaca 800 kilometre hızla uzaklaşacağı anlamına gelir.

Peki bunun evrenin yaşıyla ne ilgisi var? Kütleçekimini şimdilik yok sayar ve evrenin doğduğundan beri aynı hızla genişlediğini kabul edersek, Lemaître'in denklemleri, evrenin yaşının 1/H olduğunu söyler. Bu sayede, evrenin yaşının kabaca iki milyar yıl olduğunu tahmin edebiliriz. Diğer bir şekilde, eğer gökadaların zamana karşı uzaklıklarını bir grafiğe çizecek olursanız, kütleçekiminin olmadığı durumda grafiğin düz bir çizgi olduğunu görürsünüz ve geçmişe doğru hesaplama yaparsanız gökadalar arasındaki ayrıklığın yaklaşık iki milyar yıl önce sıfır olduğunu bulursunuz.

Ya da en azından Hubble ve Humason'ın H'yi bulmak için uyguladıkları ilk yöntemi kullanmış olursunuz. Aslında onların buldukları tahmini yaş, gökadaların uzaklıklarını belirlemedeki sistematik hatalar nedeniyle feci şekilde yanlıştı ve bugünkü tahminlerin yaklaşık yedide biri kadardı (bkz. birinci bölüm). Bu uzaklıklar Cepheid türü değişen yıldızların parlaklık ölçümlerinden hesaplanmıştı (yine birinci bölümde anlatıldığı gibi) ve hataların nedeni Cepheid türlerinin yanlış sınıflandırılması ve hidrojen gazı parlamalarının yıldız zannedilmesiydi.

Ayrıca bu yöntem sadece evrenin yaşı için bir üst sınır belirlememize yardımcı olabilir, gerçek yaşı kütleçekim nedeniyle daha az olacaktır. Kütleçekim etkisinin genişlemeyi yavaşlatıcı yönde olması, evrenin geçmişte daha da hızlı genişliyor olduğu anlamına gelir ve böylece daha kısa bir süre içinde günümüzdeki halini almıştır. Gökadalar arası ayrıklığın zamanla değişimini 82. sayfadaki grafikte görebilirsiniz. Evren ilk zamanlarda grafiği aşağı doğru eğecek şekilde davrandığı için, kütleçekimin yokluğu durumunda olacağından daha gençtir. Modern tespitlere göre evrenimizin gerçek yaşı 13,8 milyar yıldır.

Daha önce gördük ki gözlemlenebilir evren, yani görebildiğimiz uzay küresi veya diğer bir deyişle Büyük Patlama'dan beri ışı-

birleri arasındaki itme kuvvetinin alt edilmesi gerekir ve bu da aşırı yüksek hızlarla çarpışmaları sayesinde mümkün olur. Bu, Güneş'te çekirdeğin 15 milyon santigrat dereceye varan sıcaklığı sayesinde meydana gelir. Isı bir maddedeki atom ve moleküllerin hızla titreşiminin tezahürüdür. Fincandaki sıcak kahvenin molekülleri, fincanın kenarlarına çarparak enerjilerini parmaklarınıza ilettikleri için sıcak fincanı tutmak, molekülleri görece daha az titreşen soğuk su dolu bir bardağı tutmaktan daha zordur. Çekirdek kaynaşması ısıyla tetiklenebildiği için kimi zaman *termonükleer* tepkime olarak da bilinir.

Güneş, çekirdek kaynaşması sırasında enerji açığa çıkması sayesinde parlar. Bu enerji, "hidrojen bombası" gibi termonükleer silahlarda çoktan kontrol altına alınmış durumdadır. Bilim insanları teknolojiyi, çekirdek kaynaşmasını temiz nükleer enerji kaynağı olarak kullanmaya imkân verecek şekilde kusursuzlaştırmaya çalışmaktalar. Bunun tam tersi olan çekirdek bozunması hafif kimyasal elementlerin çekirdeklerini birleştirmek yerine ağır kimyasal elementlerin çekirdeklerini parçalayarak çalışmaktadır ve şu anda dünyadaki tüm nükleer güç istasyonlarında kullanılmaktadır. Çekirdek bozunması, güvenli bir şekilde imha edilmesi gereken ve yıllar boyu varlığını sürdüren zehirli radyoaktif atıklar üretir. Çekirdek birleşmesinin böylesi atıkları olmadığı için tercih sebebi olmasına rağmen, tepkimeyi başlatmak için gerekli devasa sıcaklığın üretilmesi ve kontrol altında tutulması aşırı derecede zordur.

Çekirdek birleşmesi enerjiden fazlasını üretir. İki atom çekirdeğinin birbirine bağlanması, yeni bir kimyasal element ortaya çıkarır. Hollandalı fizikçi Antonius van den Broek, kimyasal elementi çekirdeğin elektriksel yükünün belirlediğini öne süren ilk kişi oldu. Bu düşüncesini Temmuz 1922'de *Nature* adlı bilimsel dergide yayımladı. Çekirdeğinde bir proton barındıran atom hidrojen elementine karşılık gelirken, iki proton (ve dolayısıyla

iki katı elektrik yük) barındıran atom helyum, üç lityum, dört berilyum şeklinde devam eder. Yani örneğin iki hidrojen çekirdeği kaynaştığı zaman yeni bir helyum çekirdeği oluşur.

Şimdilik doğada keşfedilmiş veya hafif elementlerin çekirdeklerinin parçacık hızlandırıcıları içinde çarpıştırılmasıyla oluşturulmuş 118 kimyasal element mevcut. Ağır kimyasal elementlerin çekirdekleri, protonlar kadar, yüksüz parçacıklar olan nötronları da içerir. Nötronlar, protonlarla az çok aynı kütlede olsalar da, elektriksel olarak nötr oldukları için komşu parçacıklar üzerinde herhangi bir elektrostatik kuvvet uygulamazlar. Protonlar arasındaki itime rağmen nötronlar ve protonlar, birbirlerine "zayıf" olarak adlandırılan çekirdek kuvvetiyle bağlıdır. Doğanın atom çekirdeği içinde etkin olan iki gücünden biri zayıf kuvvet, diğeri de proton ve nötronları oluşturan daha küçük parçacıklar olan kuarklar arasında var olan "güçlü" kuvvettir.

Bir elementin atom çekirdeğindeki nötron sayısı, elementin farklı "izotop"larını oluşturacak şekilde değişebilir. Örneğin hidrojenin en sık oluşan izotopunun çekirdeğinde aslen hidrojeni tanımlayan tek bir proton (ve sıfır nötron) bulunur. Ancak hidrojenin döteryum veya "ağır hidrojen" olarak adlandırılan bir nötronlu ve trityum olarak adlandırılan iki nötronlu izotopları da vardır.

Büyük Patlama'dan saniyenin yüzde biri kadar zaman sonra, evrenin sıcaklığı hâlâ 100 milyar santigrat derece civarındayken, parçacık fiziği süreçleri nötronları protonlara ve sonra yeniden eski haline dönüştürüyordu. Protonların nötronlardan biraz daha hafif olması, daha az enerjileri olduğu anlamına geliyor. Yokuş aşağı yuvarlanan bir topun varabileceği en alt noktaya inmesine benzer şekilde, parçacıklar da mümkün olan en düşük enerji diziliminde olabildiğince uzun süre kalmaya meyillidir. Böylece evren genişleyip soğumaya devam ederken enerji yoğunluğu da buna göre azalmış, düşük enerji düzeyindeki protonlar yüksek enerjili

nötronlara tercih edilir hale gelmişti. Bu sayede de bir proton artığı birikmeye başladı.

Dönüşüm süreci, hayaletimsi, neredeyse kütlesiz ve yüksüz parçacıklar olan nötrinoları da içermekteydi. İlk defa 1903 yılında Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli tarafından, atomaltı parçacıklar arasında karşılaşılan diğer etkileşimleri açıklamak için gerekli görülmüşlerdi. 1956 yılında Güney Carolina, Aiken'deki Savannah River nükleer tesisinde çalışan Amerikalı bir ekip tarafından deneysel olarak da keşfedildiler. Büyük Patlama'dan bir saniye sonra evrenin sıcaklığı nötrinoların protonlar ve nötronlarla etkileşmesi için çok düşük bir sıcaklık olan 10 milyar dereceye düştüğü için, bu parçacıklar arasındaki dönüşüm aniden durmuş, parçacık fiziğinin kanunlarına uygun bir şekilde, her nötron başına yedi proton düşecek şekilde sayıları sabitlenmişti. Bu nokta, "donma" (*freeze out*) olarak bilinir. En hafif element olan hidrojenin atom çekirdeği sadece tek bir protondan oluştuğu için bir saniye yaşındaki evren, aralara nötronların serpiştirildiği bir hidrojen çekirdeği denizi gibiydi.

Kimyasal elementlerin oluşabilmesi için evrenin sıcaklığı tam da hassas değerde olmalıydı: Çok sıcak olursa oluşan atomlar parçalanır, çok soğuk olursa çekirdek kaynaşmasının gerçekleşmesini sağlayacak kadar hızlı çarpışamazlar. 10. ve 1000. saniye arasında sıcaklık, 1 milyar santigrat dereceden 10 milyon santigrat dereceye düşmüştü. Bu, protonlarla nötronların bir araya gelip ilk döteryum çekirdeğini oluşturmaları için yeterliydi. Üçüncü dakika civarında bu döteryum çekirdekleri kendiliklerinden kaynaşarak helyumu oluşturmaya başlamışlardı; her bir hidrojen çekirdeği, iki döteryum çekirdeğinden oluştuğu için iki proton ve iki nötron barındırıyordu. Her ne kadar Helyum-3 iki proton ve bir nötron barındırarak kararlı yapıda olsa da, Helyum-4 olarak da bilinen bu izotop, açık ara farkla en bol bulunandı.

Bu sürecin mekaniğini anlamak gayet kolay. Hatırlayacak

olursak, donma sonrası her nötron için yedi proton mevcuttu ve böylece oluşan her döteryum çekirdeğinden sonra geriye altı proton ya da hidrojen çekirdeği kalıyordu. İki döteryum çekirdeğinin bir helyum çekirdeği oluşturmasıyla döteryum helyuma dönüşünce, oluşan her helyum çekirdeğinin ardından geriye on iki hidrojen çekirdeği kalıyordu. Ancak protonlarla nötronların kütleleri az çok aynı olduğu için evrendeki hidrojen ve helyum kütleleri, 12:4 ya da bunun dengi olacak şekilde 3:1 gibi kabaca bir oran tutturmuştu. Bu, Büyük Patlama'da evrenin kütlesinin kabaca %75'inin hidrojen, kalan %25'in de helyum şeklinde oluştuğunu öne süren bir kuramdı.

Aslında sıcaklık çekirdek kaynaşmasına izin vermeyecek ölçüde soğumadan önce bir sonraki ağır element olan lityumu da az da olsa üretmek mümkündü. Buna göre son durum %75 hidrojen, %25 helyum, %0,002 artık-döteryum ve evrenin kütlesinin ancak yüzde yüz milyonda biri kadar da lityum şeklindeydi. Bundan daha ağır hiçbir element Büyük Patlama'da oluşmamıştı.

1940'ların sonunda Alpher ve Gamow, Büyük Patlama nükleosentezine dair kuramlarını ortaya koyan bilimsel bir makale yayımladılar. Muzır Gamow, o âna kadar kurama hiçbir katkı sağlamamış olmasına rağmen, arkadaşı Alman nükleer fizikçi Hans Bethe'nin de adını eklemişti. Böylelikle kuram, Yunan alfabesinin ilk üç harfi olarak kısaltılabilecek şekilde Alpher-Bethe-Gamow adını almıştı. Gamow'un muzırlığına uygun şekilde, makale *Physical Review* adlı bilimsel dergide 1 Nisan 1948'de yayımlandı. Bethe bu durumdan oldukça eğlenmiş olsa da, o zamanlar henüz bir doktora öğrencisi olan Alpher, makaleye katkısı azmış gibi algılanabileceğini ve bunun kariyerini kötü şekilde etkileyebileceğini düşünüyordu. Alpher'in 1990'ların sonlarında bile hâlâ bu olaydan şikâyet ettiği söylenir.

Tabii ki Büyük Patlama kimyasal elementlerin üretildiği yegâne nükleer fırın değil. Öyle olsaydı etrafınızda gördüğünüz her

şey, hidrojen, helyum ve lityumdan ibaret çok temel yapıtaşlarından oluşmuş olurdu. Bunun pratik olmaması bir yana, çok da sıkıcı olurdu ve gerçekten de yaşamın evrimi imkânsızlaşırdı. Ama iyi haberler de var. Daha önce ima edildiği gibi, Güneş'imiz de dahil olmak üzere yıldızlar çekirdek kaynaşma tepkimelerine ev sahipliği yaparlar ve iç yapılarında sürekli yeni kimyasal elementler üretilir. Yıldızlar kâinattaki tüm elementleri oluşturmaya yeterlidir ve en inanılmaz bilimsel gerçeklerden biri, vücudunuzdaki karbondan soluduğunuz oksijene, mutfağınızdaki metal çatal bıçaktan nükleer güç istasyonlarındaki uranyuma kadar her şeyin bir zamanlar yıldızların içindeki kızgın fırınlarda işlenmiş olmasıdır.

Bunun nedeni, bu kimyasal elementlerin sonsuza dek yıldızın içinde kilitli kalmamasıdır. Daha önce belirttiğimiz gibi, bazı yıldızlar süpernova adı verilen vahşi patlamalarla yaşamlarını sonlandırırken, bazıları da dış katmanlarını daha zarif bir şekilde etrafa saçmadan önce kocaman kırmızı dev yıldızlar haline gelir. Her durumda, yıldızların içinde oluşan kimyasal elementler, nihayetinde bizim Güneş sistemimiz gibi yeni nesil yıldız ve gezegen sistemleri oluşturmak üzere uzaya saçılır. Yani gerçekten de yıldız tozu olduğumuz doğru.

Tüm inanılmazlığına rağmen evrende yaşamın baş gösterebilmesi için gerekli olsa da, yıldızların içindeki kimyasal elementlerin üretimi Büyük Patlama'da ortaya çıkan elementlerin dengesini bozup kirleterek, kuramı test etmek isteyen astronomlar için hayatı daha da karmaşık hale getirmişti. Neyse ki astronomlar görebildikleri en uzak gökadalara bakarak bu sorunu çözmeyi başardı. x ışık yılı uzaklıkta bir gökadaya baktığımızda onun x yıl kadar önceki halini görmemizi sağlayan *zamanda geriye bakma etkisi*[1] sayesinde gördüğümüz bu gökadalar, evrende oluşmuş ilk cisimlerden bazıları. Yani bunlardaki yıldız ve gazlı bulutsunun

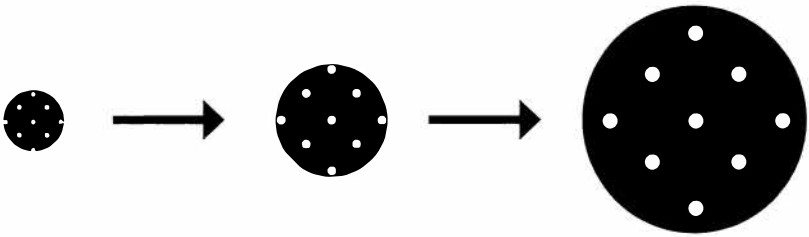
1 Look-back-time effect. (ç.n.)

içerdiği elementlerin oranları Büyük Patlama'da meydana gelenleri oldukça iyi temsil edebilecek yaklaşıklıkta.

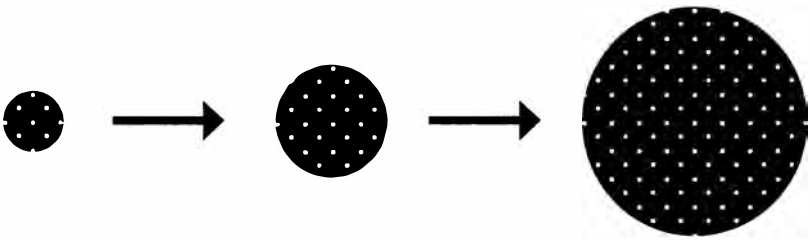
Uzak gökadalardan gelen ışığı, içerdiği renklerin tayfına ayrıştırıp her rengin parlaklığını ölçen (bkz. birinci bölüm) tayfölçümü sayesinde astronomlar gökadaların kimyasal içeriklerini analiz edebilirler. Belirli kimyasal elementler belirli renklerdeki ışığı salarak veya soğurarak tayf üzerinde parlak ya da karanlık şeritler oluştururlar. Her şeridin tam olarak ne kadar parlak veya koyu olduğunun ölçülmesi o elementten ne kadar var olduğunu açığa çıkarır. En eski gökadalardaki malzemenin tayfını incelediklerinde bileşimin tam da Alpher-Bethe-Gamow kuramının öngördüğü şekilde, %75 hidrojen, %25 helyum olduğunu buldular.

Hesaplamaları daha sonra 1960'lı yıllarda Rus astrofizikçi Yakov Borisovich Zel'dovich ve ironik bir şekilde Durağan Hal Kuramı'nın bir numaralı savunucusu olan Fred Hoyle'un kendisi tarafından iyileştirildi. Önceki bölümde gördüğümüz gibi, Durağan Hal Kuramı evrenin yoğunluğunu sabit tutmak için sürekli madde üretilmesine ihtiyaç duyar. Bu madde hidrojen olarak üretilmişti ve üretim oranının yılda altı kilometre küp başına bir atom olması gerektiği hesaplanmıştı. Genç gökadaların neredeyse tamamıyla hidrojenden ibaret olduğu anlamına gelse de, aslında %25'inin helyumdan oluştuğunu ortaya koyan bu gözlemler, Hoyle'un modeline ciddi bir darbe indirmişti.

Dünya etrafında dolanan gözlemevlerinden elde edilen bilgilere göre hafif elementlerin bolluklarına dair günümüzdeki tahminler, gözlemlenen hidrojen ve helyum bolluklarına kusursuz bir uyum sağlayan Büyük Patlama Kuramı'nın öngörülerini daha da teyit eder niteliktedir. Ne var ki bir sonraki ağır element olan lityum gözlemleri, bilim insanlarının hâlâ üzerinde çalıştığı bir tutarsızlık ortaya koymaktadır.



Büyük Patlama Kuramı'nda kütle yoğunluğu zamanla azalır.



Durağan Hal Kuramı'nda kütle yoğunluğu sabit kalır.

Büyük Patlama Kuramı'nda evrenin kütle yoğunluğu uzay genişledikçe azalır. Durağan Hal Kuramı'nda uzay yine genişliyor olsa da sürekli madde üretimi nedeniyle yoğunluk sabit kalır.

Çekirdek oluşumlarının[1] ardından, en azından Büyük Patlama'ya göre evren; atom çekirdekleri, elektronlar ve fotonlardan oluşan bir plazma halindeydi (ışınım parçacıkları olan fotonların nasıl mümkün olduğuna dair bilgi için altıncı bölüme bakınız). Tıpkı şiddetli bir ışınım alanının, sıcaklık belirli bir eşik değerinin altına düşmeden önce oluşmaya çalışan herhangi bir atom çekirdeğini parçalaması gibi, bu "plazma dönemi"nde oluşmaya çalışan tüm atomlar da aynı kaderi paylaştı.

Plazmadaki serbest elektronlar ışınımla etkileşerek saçılmaya neden oldukları için bu durum plazma döneminin opak olmasına neden olmuştur: Özünde bir elektromanyetik ışınım olan ışık ışı-

1 Nucleosynthesis. (ç.n.)

nının herhangi bir mesafeye ilerleyebilmesine olanak yoktu.

Ancak Büyük Patlama'dan 380.000 yıl sonra bunların hepsi değişti. Sıcaklığın 3000 santigrat derecenin biraz altına düşmesi, atom çekirdekleri ve elektronların birleşerek evrendeki ilk atomları oluşturmasına imkân verdi. Kozmologlar bu döneme *yeniden birleşme* adını veriyor. Atomlar, çekirdeklerindeki pozitif yükün elektronlarındaki negatif yükle dengelenmesi sayesinde elektriksel olarak nötr olduklarından, elektromanyetik ışınımla görece zayıf bir etkileşim halindedirler, yani atomlarla ışınım fotonlarının çarpışması çok nadir gerçekleşir. Yeniden birleşmenin ardından şeffaf hale gelen evrende artık ışınım fotonları, *son saçılma yüzeyi* adı verilen, maddeyle etkileşime gireceği son noktaya kadar hiçbir engelle karşılaşmadan serbestçe yol alırlar. Evrenin ilk zamanlarından kalma fosil fotonlar 13,5 milyar yıldan fazla zamandır hiç değişmeden kalmayı başarmış oldukları için astronomlar bunları bugün dahi görebiliyor.

Yalnız bu tam doğru sayılmaz. Antik ışınım kozmos boyunca attığı maraton turunda maddeyle pek etkileşmemiş olabilir ancak seyahatini gerçekleştirdiği uzay tüm bu esnada genişleyerek ışınımı da gitgide daha uzun dalga boylarına yaymaktaydı. Bu aslında birinci bölümde karşılaştığımız, uzak gökadalardan gelen ışığın tayfındaki belirli parlak ve karanlık çizgilerin normalde olduklarından çok daha kırmızı dalga boylarına kaymaları olan kırmızıya kayma etkisidir (bu nedenle, Hubble kanununun etkisiyle, bizden ne kadar uzaklaşırlarsa hızlarıyla birlikte kırmızıya kayma miktarı da o kadar artar).

Kırmızıya kayma, elektromanyetik tayfın kızılöte bölgesindeki, dalga boyu milimetrenin binde biri civarında olan son saçılma yüzeyinden gelen ışığı gererek, birkaç milimetrelik dalga boyundaki mikrodalgalara kadar uzatır (yemeğinizi ısıtmak için faydalandıklarınıza oldukça benzer).

Işınımdaki enerjiyi de sönümler ve buna karşılık sıcaklığı dü-

şer. Gerçekten de, ışınım yeni doğmuş 2700 santigrat derecedeki evrendeki son saçılma yüzeyinden çıkmıştır ama kırmızıya kayma sayesinde bugün uzayda mutlak sıfırın ancak birkaç derece üzerinde yer edinmiştir. (Mutlak sıfır, olabilecek en soğuk durumdur. Hatırlayacağınız gibi, bir cismin sıcaklığı atom ve moleküllerinin titreşiminden kaynaklanır. Eğer bu titreşimleri tamamen durdurabilirseniz o zaman sıcaklık mutlak sıfıra düşer ve bundan daha da soğuk olması mümkün değildir.) Mutlak sıfırdan sadece 2,73 derece fazla, yani -270 santigrat derece olan bu aşırı soğuk mikrodalga ışımasına astronomlar Kozmik Mikrodalga Arka Planı (CMB)[1] adı verir.

CMB'nin Büyük Patlama'nın bir sonucu olduğu gerçeğini ilk defa yine George Gamow ve Ralph Alpher'le birlikte Gamow'un öğrencilerinden olan ve daha sonra ilkel nükleosentez araştırmalarına katılacak olan Robert Herman ortaya çıkarmıştır. Eğer kuram doğruysa bugünkü uzaya mutlak sıfırdan yaklaşık 5 derece yukarıda bir mikrodalga ışınımın sinmiş olması gerektiğini öne süren temel hesaplamalarının kabaca doğru sonuçlarını 1948'de yayımladılar.

O zamanlar CMB'nin algılandığını doğrulayacak hiçbir şey yoktu ama varlığını işaret eden ipuçları mevcuttu. 1935 yılında Mount Wilson'daki Hooker Teleskobu ile yapılan tayfsal gözlemler yıldızlararası gaz bulutlarının mutlak sıfırdan iki ve üç derece fazla bir sıcaklıkta, kuramsal modellerin söylediğinden sekiz hane[2] daha fazla olduğunu öne sürdü. Isınmaya neden olan bir şey vardı. Gamow'un ekibi bu sonuçtan habersiz miydi, ihmal edilebilir olduğunu mu düşünmüşlerdi yoksa bir ilişki bulamamışlar mıydı bilinmiyor. CMB'nin algılanabilmesi konusunu radyo astro-

1 Cosmic Microwave Background (CMB). (ç.n.)

2 İngilizcede "orders of magnitude" olarak geçen bu sistem, 10'un üstel kuvvetlerini kastediyor. 1 hane fazlası, sayının sonuna bir sıfır daha koymak, 1 hane eksiği, sayının sağdan bir basamak sonrasında ondalık virgülü koymak şeklinde düşünülebilir. (ç.n.)

nomlara danışmışlardı ancak Dünya'nın atmosferindeki çalkantılı bulanıklık nedeniyle bunu görmenin imkânsız olacağı söylenmişti.

1960'lara kadar CMB'nin algılanabilme olasılığı bir daha gündeme gelmedi. New Jersey'deki Bell Laboratuvarları'nda çalışan astronomlar Robert Wilson ve Arno Penzias, Dünya yörüngesindeki uydularla iletişim kurmak için geliştirilmiş Holmdel Horn Antenna radyo teleskobunu radyo astronomi araştırmalarında kullanmak üzere elden geçiriyorlardı. Uzak gökadalar ve yıldızlar gibi, Güneş'imiz de dahil olmak üzere birçok astronomik kaynak Dünya'dan algılanabilen radyo dalgaları yayar. Penzias ve Wilson'ın kozmolojiye çok az ilgisi olsa da aşırı sönük radyo kaynaklar üzerinde çalışmak istemişlerdi ve bu da antenin aşırı derecede hassas olmasını ve istenmeyen tüm radyo gürültünün ortadan kaldırılmasını gerektiriyordu.

Ancak ne kadar deneseler de -270 santigrat derece sıcaklıkta sönük bir mikrodalga ışınım sızıntısı halindeki bir gürültü kaynağından kurtulmayı bir türlü başaramamışlardı. Gürültünün dedektör içinde bir yerde oluştuğunu düşünerek bir yıl boyunca bunu gidermeye çalıştılar. Ancak dedektörü sıvı helyumla soğutmanın yanı sıra, radyo dalgalarını alıcıda yoğunlaştırmaya yarayan antenin boynuzu üzerinde yuva kurmuş güvercinlerin pislikleri olan, ancak Penzias'ın "beyaz dielektrik malzeme" olarak adlandırdığı şeylerin temizlenmesi de dahil olmak üzere, denedikleri tüm yöntemlere rağmen sorunu gideremediler.

Bu sırada, yolun yukarısındaki Princeton Üniversitesi'nde çalışan kozmolog Robert Dicke, öğrencisi James Peebles'la beraber Gamow, Alpher ve Herman'ın uzayı istila ettiğini öngördüğü mikrodalga arka planını yeniden oluşturmuşlardı. 1964'te Rus astrofizikçi Andrei Doroshkevich ve Igor Novikov, Gamow ve ekibine verilen deneysel tavsiyenin aksine, CMB'nin Dünya'dan gözlenebileceğini gösteren bir araştırma yayımladılar. Böylelikle Dicke, meslektaşları Peter Roll ve David Wilkinson'la bunu algılayacak

bir radyo alıcısı oluşturmak için kolları sıvadı. Ancak pek yol katedememişlerdi ki çalışmalarından haberdar olan meraklı Penzias, Holmdel anteninin başına bela olan bu gizemli gürültüye dair bir fikirleri olup olmadığını öğrenmek için onlara telefon etti. Ekibiyle toplantı halideyken gerçekleştirdiği telefon görüşmesi sonrası Dicke'in ahizeyi kapatır kapatmaz "Beyler, atlatıldık!" dediği söylenir.

İlk defa 20 Mayıs 1964'te Penzias ve Wilson tarafından algılanan "gizemli gürültü" tabii ki kozmik arka plan ışınımıydı. Bulgularını, Temmuz 1965'teki *Astrophysical Journal*'da yayımladıkları biraz sıkıcı bir başlık altında sundular: "4080Mc/s'deki Aşırı Anten Sıcaklığının Ölçümü" (buradaki Mc/s saniyede bir milyon tur[1] anlamına gelen, bir megahertze denk frekans birimidir). Makalede, bu olgunun muhtemel bir açıklaması olarak Dicke, Peebles, Roll ve Wilkinson'ın yazdığı, CMB'nin Büyük Patlama Kuramı'nda oluşumunun fiziğine dair detayları anlattıkları ve derginin aynı sayısında yayımlanan bir makaleden çok da üstünde durmaksızın bahsettiler.

1978'de Penzias ve Wilson, Büyük Patlama Kuramı'nın bugünkü temellerinden birini keşfettikleri için fizik dalında Nobel ödülünü paylaştılar. CMB'nin uzayın her yerini istila etmiş olduğunu düşünmek hâlâ çok etkileyici. Evrendeki ışınımın yüzde 99.99999999999999999999999'una karşılık geliyor. Bu, bir yıldızda üretilen her bir fotona karşılık Büyük Patlama'dan kalma 100.000.000.000.000.000.000.000.000 foton daha var olduğu ve uzayın her santimetrekaresinin (etrafınıza bir bakın) ortalama birkaç yüz CMB fotonuna ev sahipliği yaptığı anlamına geliyor. Dijital, uydu ve kablo televizyon devrinden önceki analog televizyonları hatırlayacak yaşta olan herkes CMB'yi bir kez olsun görmüştür. Analog bir televizyonda boş bir kanalı açtığınızda,

1 Megacycle. (ç.n.)

karıncalanma dediğimiz zıplayan siyah beyaz noktalar görürsünüz. Bu statik sinyalin kabaca %1'i televizyonunuzun havadaki CMB'yi algılamasından kaynaklanır.

Kozmik arka plan ışınımı ve ilkel çekirdek oluşumlarını bir arada ele aldığımızda durum, tam da evrenin doğumu ve evrimine dair öncü kuram olan Büyük Patlama'yı işaret eden, dumanı üstünde bir tabanca haline gelir ve bir kez daha Hoyle'un Durağan Hal modelinin üstünü örter.

Ne var ki astronomların CMB ile işi henüz bitmemişti. Sabit sıcaklıkta bir ışınımdan çok daha fazlası olduğu, Büyük Patlama'nın derinliklerindeki doğada geçerli fiziğin ve evrendeki yapıların oluşumuna dair önemli ipuçları saklayan karmaşıklıkların içine serpiştirilmiş olduğu ortaya çıkacaktı (dokuzuncu bölümde daha fazla bilgi bulabilirsiniz).

CMB'nin modern gözlemleri, ilkel nükleosentez anlayışıyla birleştirildiğinde, evrendeki atomları oluşturan türden sıradan maddenin tüm madde içeriğinin %4,6'sından fazlası olmadığını ortaya koymaktadır. Ancak bu bir sürpriz değil. 1970'lerden beri astronomlar uzak gökadalardaki parlak sıradan madde miktarının onları bir arada tutacak kütleçekimini oluşturmaya yetmeyeceğini biliyorlardı: Gökadalardaki yıldızlar o kadar yüksek hızda hareket ediyorlardı ki aslında uzaya savrulmaları gerekirdi.

Artık Büyük Patlama Kuramı en iyi kozmolojik modelimiz olarak kendini kabul ettirdiğine göre, üstesinden gelmesi gereken ilk zorluk bu problemle ilgilenmek olacaktı. Kanıtlara inanılacak olursa evrenin %95'i görünmez demekti. Ancak kimse bunun nedenini bilmiyordu.

BEŞİNCİ BÖLÜM

Evrenin Çoğu Kayıp

"Bilirsiniz, karanlık madde mühimdir."[1]

Neil Degrasse Tyson

Bulutsuz bir gecede gökyüzüne baktığınızda, karanlık gökyüzü yakın yıldızların ve uzak gökadaların parıltılı ışıklarından oluşan bir tabloya benzer. Ancak yine de astrofizikçiler bu büyüleyici sahnenin aslında evrendeki maddenin sadece yüzde 5'ini temsil ettiğine inanıyor. Geri kalan %95 ise parlamadığı için ya da görebildiğimiz parlak malzemelerin yanı sıra uzayda algılanmadan yol alabildiği için görüşümüz dışında kalarak gizlenmeyi başarabilen, hayret verici karanlık şeylerden oluşmaktadır.

Evrenin %95'i, nihai kaderi kolaylıkla belirleyebilecek kadar büyük bir miktar. Nihayetinde kozmik genişlemenin durmasına yeterli olup olmayacağı veya evrenin kütleçekimsel olarak serbest bir halde sonsuza dek genişlemeye devam edip etmeyeceği, uzaydaki madde miktarının tümüne bağlı. Aynı zamanda bunun, kozmik zamanın diğer ucunda, Büyük Patlama'dan kısa zaman sonra gökada kümelerinin ve gökadaların oluşumuna şiddetli bir etkisi olan önemli bir mesele olduğu ortaya çıkıyor.

Ne olduğunu bulmak için harcanan bilimsel projelerin büt-

1 "You know, dark matter matters."

çelerine ve kozmologların harcadığı saatlere rağmen, kimse bu karanlık şeyin ne olduğunu tam olarak bilmiyor. Araştırmacıların çoğunun epeyce emin olduğu tek şey, var olması gerektiği. Kütleçekim cisimleri hareket ettirir ve kütleçekim ne kadar çok olursa, cisimler de o kadar hızlı hareket etmeye meyillidir. Sırf parlak malzemeden, yani yıldızlar ve parıldayan bulutsulardan yola çıkarak hesaplanan kütleçekim miktarına bakıldığında yıldızların ve gökadaların olması gerektiğinden daha hızlı hareket ettiği sayısız durum bilinmektedir.

İlginçtir ki henüz bu kayıp maddeye dair elle tutulur herhangi bir kanıt bile yokken bilim insanları ona bir isim bulmuştu. 1906 yılında Fransız matematikçi Henri Poincaré, Samanyolu gökadamızdaki parlak olmayan malzemeyi tanımlamak için *karanlık madde* terimini kullanmıştı. Buna dair bir ipucu yakaladığını ilk iddia edenlerden biri, 1932'de, Hollandalı astronom Jan Oort oldu. Samanyolu'nun disk kısmında, yukarı ve aşağı doğru hareket eden yıldızların hızlarını ölçmüştü. Diskte mevcut maddenin kütleçekimi, yıldızların tıpkı bir atlıkarıncadaki atlar gibi gökadanın merkezi etrafında, yukarı aşağı yalpalamasına neden oluyordu. Ancak Oort, yıldızların diskten uzaklaşmaları gerektiği kadar yukarı ya da aşağı gitmediklerini fark etmişti; gökada diskinde görülen malzemenin oluşturabileceği miktardan daha fazla bir kütleçekimsel kuvvet onları alıkoyuyor gibiydi.

Sonraki yıl İsviçreli astronom Fritz Zwicky'nin elinde biraz daha fazla kanıt birikmişti. Zwicky, yüksek kütleli yıldızların ölümlerini işaret eden patlamalara "süpernova" adını veren, süpernovadan geriye kalan aşırı yoğun artıklar olan nötron yıldızlarının varlığını öngören ve sonrasında da evrendeki devasa mesafeleri ölçmek için süpernovaların kullanılmasına önayak olan zeki bir astronomdu. Gökadaların sınıflandırılması ve kataloglandırılmasına da katkıda bulunmuş ve Einstein'ın genel görelilikte ışığın bükülmesine dair çalışmasında yüksek kütleli cisimlerin,

tıpkı arkasındaki cismi büyüten bir mercek gibi, ışığı büküp odaklayabileceklerini doğru şekilde öngörmüştü. *Kütleçekimsel mercekleme* etkisi olarak bilinen bu etki daha sonra 1979'da gözlemlendi. Zwicky aynı zamanda oldukça aksi karakterde, genellikle meslektaşları ve tanıdıklarıyla ters düşen birisiydi. Hoşlanmadığı kişilere "küresel soysuzlar" diye hakaret etmeyi severdi, çünkü "Nereden bakarsanız bakın, her şekilde soysuzlar," derdi.

Zwicky, Saç Kümesi[1] olarak bilinen, Berenis'in Saçı[2] takımyıldızında, Dünya'dan 323 milyon ışık yılı ötede ve 1000'den fazla gökadayı içeren bir grup üzerinde çalışıyordu. Kümedeki gökadaların ne kadar hızlı hareket ettiklerini ölçmüştü. Gökadaların uzaya saçılmadıkları gerçeğine bakılırsa, tüm bunları kümede bağlı bir sistem olarak bir arada tutmaya yetecek kadar kütleçekim olması gerekirdi. Bu tıpkı Dünya'da havaya doğru bir havantopu patlatmak gibiydi. Topun nihayetinde durduğunu ve yere düştüğünü gördüğümde Dünya'nın kütleçekiminin, dolayısıyla kütlesinin topun yükselişini durdurmaya yeterli olduğunu bilirim. Birden fazla top patlattığımda, Dünya'nın çekiminden kurtulabilen en yavaş topun hızını teorik olarak ölçebilirsem, Newton'ın kütleçekim kanununu kullanarak gezegenin kütlesine erişebilirim.

Ancak Zwicky bunu Saç Kümesi'ndeki gökadalara uyguladığında, kümenin kütleçekiminden hesaplanan kütlesi ile tüm gökadaların tahmini kütlesini topladığında elde ettiği sonucun uyuşmadığını buldu.

Uzak bir gökadanın kütlesini tahmin etmek pek de basit değildir. Eğer gökada yakındaysa, tıpkı havantopu benzetmesinde olduğu gibi yıldızlarının hareketlerini ölçerek yıldızların uzaya savrulmasını engellemek için ne kadar kütçekimsel malzemeye ihtiyaç olduğunu kavrayabilirsiniz. Ancak yüz milyonlarca ışık yılı uzaklıktaki Saç Kümesi'ndeki gökadaları oluşturan yıldızla-

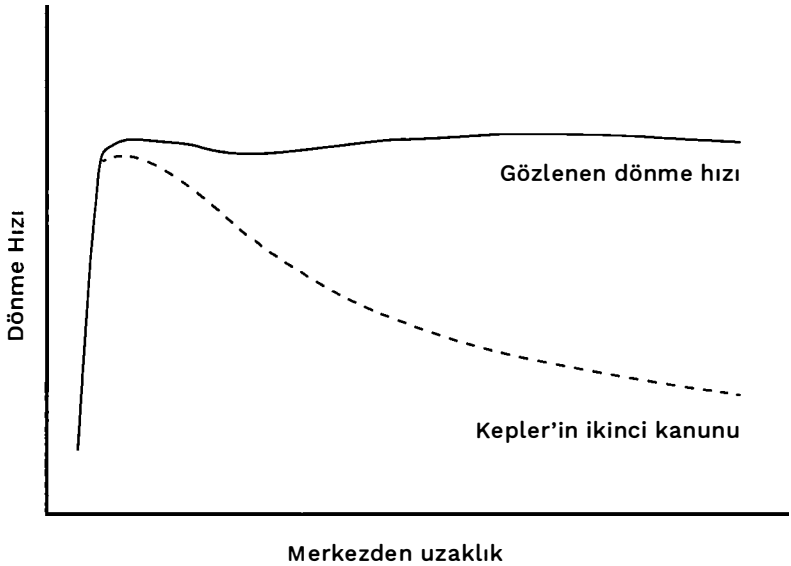
1 Coma Cluster. (ç.n.)
2 Coma Berenices. (ç.n.)

rı tek tek görmek mümkün değildi. Bunun yerine Zwicky, astronomların *kütle-ışık-oranı*[1] adı verdikleri şeyi kullandı. Yakındaki bir miktar gökada üzerinde çalışarak parlaklıklarını ölçtü ve onları oluşturan yıldızların hızlarından yola çıkarak kütlelerini tahmin ettikten sonra birim parlaklık başına ne kadar kütle düştüğünün yaklaşık bir oranını elde etti. Daha sonra Zwicky bu oranları Saç Kümesi'ndeki her bir gökadanın gözlenen parlaklığına uygulayarak toplam kütle için bir tahminde bulundu. Böylelikle elde ettiği değer, kümedeki gökadaların hızlarından yola çıkarak bulduğu kütleden yüzlerce kat az çıkınca, Zwicky bunun tek çözümünün kümede büyük miktarda görünmez malzeme bulunması olduğunu ileri sürdü.

Zwicky'nin bulduğu sayılar, özellikle evrenin genişleme oranını kontrol eden Hubble sabitinin (bkz. üçüncü bölüm) 1930'larda tahmin edilen değerinin çok büyük olması nedeniyle gerçekten de hedefi ıskalamıştı. Bu yüzden Zwicky, Saç Kümesi'nin uzaklığını (hatırlarsanız uzaklık, ölçülen uzaklaşma hızının Hubble sabiti ile çarpımıyla bulunuyor) olduğundan büyük tahmin etmişti. Bu da bunları bir arada tutmak için gereken karanlık madde miktarına ilişkin hesaplarını bozmuştu, ancak kümedeki maddenin büyük kısmının görünmez olduğuna dair elde ettiği sonuçlar genel itibarıyla daha sonra kendini doğrulayacaktı.

1970'lerde Amerikalı astronom Vera Rubin, meslektaşı Kent Ford ile birlikte çalıştığı Washington'daki Carnegie Enstitüsü'nde, karanlık maddenin küçük ölçeklerde varlığına ilişkin kanıtlar ortaya çıkarmıştı. Samanyolu'ndaki gibi yıldızları girdaplı bir yapıda barındıran sarmal gökadaları ve özellikle de gökada etrafında dolanan yıldızların hızlarının merkeze olan uzaklıklarına bağlı olarak değişimini gösteren *dönme eğri*lerini inceliyordu. Newton'ın kütleçekim kanunu (bkz. ikinci bölüm) gökadaların parlak merke-

1 Mass-to-light ratio. (ç.n.)



1970'lerde Vera Rubin ve Kent Ford, sarmal gökadaların dönme hızlarının kuramsal tahminlerden büyük miktarda saptığını keşfetti. Bu da, gökada halelerinin fazla miktarda "karanlık" madde bulundurduğu anlamına geliyordu.

zi çekirdeğinin dışındaki dönme hızlarının merkeze olan uzaklık arttıkça azalması gerektiğini söylüyordu. Merkeze yaklaştıkça Rubin'in gözlemleri kuramsal tahminlerle örtüşüyordu. Ama gökadanın *hale*[1] olarak bilinen dış kısımlarında, gözlemler ve kuram bambaşka şeyler söylüyordu.

Rubin ve Ford, halelerdeki dönme hızının hiç de azalmadığını, kabaca sabit kaldığını buldu. (Aslında gökadanın halesinde çok az yıldız olduğu için Rubin oradaki dönme hızını, parıldayan hidrojen gazı bulutlarının hareketini takip ederek ölçmüştü.) Bunun mümkün olmasının tek yolu her gökadanın toplam kütlesinin en az %50'sini oluşturacak şekilde halenin tıka basa karanlık mad-

1 Halo. (ç.n.)

deyle dolu olmasından geçiyordu.

1990'ların sonlarında Dünya yörüngesindeki Hubble Uzay Teleskobu[1] ile elde edilen görüntü ve verileri kullanan astronomların uluslararası işbirlikleri sayesinde çok uzak *kuazar*[2] kümeleri kullanılarak kütleçekimsel merceklemeler üzerinde çalışılmaya başlandı. Çok uzak gökadalar olan bu cisimler teleskopla gözlendiğinde, tipik gökadalar gibi bulanık değil yıldızlar gibi iğne ucu kadar göründükleri için *yıldız-benzeri cisimler*[3] olarak da bilinirler. Aşırı parlaktırlar ve merkezlerinde bulunan, Güneş'in kütlesinin birkaç milyon katına varan kütlede devasa karadeliklerden beslenirler. Gökadadaki yıldızları ve gazı yutan karadelik, aşırı yoğunluğu sonucu sıkışıp ısındıkça ışınım fışkırtır. Bu kitabın yazılmakta olduğu 2018 baharında bilinen en uzak kuazar 13 milyar ışık yılı uzaklıkta yer almakta, yani oradan gelen ışık, evren sadece birkaç yüz milyon yıl yaşındayken yola çıkmış.

Bir kuazar her ne kadar normal teleskopla bakıldığında nokta gibi görünse de kütleçekimsel merceğe sahip doğal bir devasa teleskopla bakıldığında, bir veya daha fazla sayıda muz gibi, yay benzeri, biçimi bozulmuş bir şekil olarak görünür. Einstein, gözlemcinin, kuazarın ve kümenin kütlesinin merkezde yoğunlaştığı noktanın kusursuz bir şekilde hizalanması durumunda görüntünün mükemmel bir halka oluşturacak şekilde gerileceğini ispatlamıştır. Pratikte ise bu varsayımlar nadiren gerçekleşir. Ancak karanlık madde üzerinde çalışan astronomlar için bu iyi bir şeydir. Mercekleyen kümenin kütleçekimsel etkisini bilgisayarda modelleyerek, görüntüdeki yay biçimli yapıları tersine çevirip kümedeki kütlenin dağılımını yeniden oluşturabilirler. Bu sayede ortaya çıkan keskin kütle tepeleri, gökadalar arasındaki pürüzsüz arkaplan maddesinde üst üste gelmiş ayrık gökadalara karşılık gelir. Bu pü-

1 Hubble Space Telescope (HST). (ç.n.)
2 Quasar. (ç.n.)
3 Quasi-stellar objects. (ç.n.)

rüzsüz arkaplan, kümenin kütlesinin yüzde 85'i kadarını oluşturabileceği tahmin edilen, görünmez karanlık maddedir.

Peki bu garip şey tam olarak neden yapılmış olabilir? Akla ilk gelen karanlık maddenin hiç ışık yaymayan sıradan bir madde olabileceğidir. Nihayetinde siz de, ben de sıradan maddeden oluşuyoruz ve parlak değiliz. Güneş Sistemi'nin derinliklerindeki asteroidler de üzerlerinden yansıyan bir Güneş ışığı pırıltısına denk gelmediğimiz sürece parlak değil. Atbaşı Bulutsusu'nun[1] ikonlaşmış görüntüsündeki gibi, uzayda gerçekten de karanlık toz bulutları olduğunu biliyoruz. Bu, Avcı[2] takımyıldızında bulunan, civardaki parlak bir yıldızın aydınlatması sonucunda parlak pembe parlayan bir hidrojen gazı bulutu. Parlayan gaz bulutunun bir kısmı, silüeti bir atbaşı şekli oluşturan, araya girmiş toz öbeği tarafından örtülmekte.

Sorun şu ki, ihtiyacımız olan karanlık madde miktarı o kadar çok ki eğer sıradan maddeden oluşsaydı kendini bize belli ederdi. Karanlık madde toz halinde olsaydı, tıpkı Atbaşı'nda gördüğümüz gibi başka birçok yıldız ve parlak bulutsudan gelen ışığı örttüğünü görürdük. Küçük karanlık cisimler halinde olsa bile görürdük. Örneğin kısa zaman önce, gökadalardaki karanlık maddenin bir kısmının *yüksek kütleli sıkı astrofiziksel hale cisimleri*[3] olarak adlandırılarak, gökadaların dış halesinde dolandıkları düşünülmüştü. MACHOlar geniş bir sınıftır. Her biri tıpkı bir yıldız embriyosu gibi birer hidrojen gazı küresi olsa da, merkezde çekirdek kaynaşmasını başlatmaya yetecek kadar kütle biriktirmeyi başaramamış, esasen başarısız yıldızlar olan *kahverengi cüceleri*[4] de içerir. Yaşamını tamamlayan bir yıldızın ardında bıraktığı aşırı yoğun cisimler

1 Horsehead Nebula. (ç.n.)
2 Orion. (ç.n.)
3 Massive compact astrophysical halo objects (MACHO). Kısaltma Türkçedeki maço kelimesinin anlamına denk gelecek şekilde oluşturulmuş. (ç.n.)
4 Brown dwarf. (ç.n.)

olan karadelikler, soğumuş nötron yıldızları ve az sonra değineceğimiz *beyaz cüceler*[1] gibi yıldız artıkları da bu gruba dahildir.

MACHOları, tıpkı uzak bir kuazarın gökada kümesi tarafından kütleçekimsel merceklenmesi gibi, ama daha küçük ölçeklerde gerçekleşen *kütleçekimsel mikromercekleme*[2] sayesinde algılayabileceğimiz öne sürülmüştü. Görüşe göre MACHO, arkaplandaki bir yıldızın önünden geçtiğinde yıldızda anlık bir parlamaya neden olacak ve böylelikle teoride algılanabilecekti. Ancak teleskoplarla yapılan aramalar, MACHOların gökadalardaki karanlık maddeye katkısının kayda değer ölçüde olduğunu gösterecek sayıda mikromercekleme olayı bulmaya yetmedi.

Detaylı *kozmik mikrodalga arka plan* ölçümlerini daha aydınlatıcı ve şaşırtıcı kanıtlar takip etti. Önceki bölümde keşfettiğimiz gibi CMB, Büyük Patlama'nın ateştopunun ya da Büyük Patlama'dan 380.000 yıl sonraki son saçılma yüzeyinin antik bir yankısı. Bu yüzey kozmik geçmişe baktığımızda görebildiğimiz en eskiyi temsil ediyor; bunun öncesinde madde ve ışınımın etkileşim halinde olduğu zaman evren opaktı. Ama son saçılmanın ardından ışınımın uzayda serbestçe hareket etmesine imkân verecek şekilde ayrıştı. Sıcaklığı 2700 santigrat derece civarında olan son saçılmadaki ışıma, uzayın genişlemesiyle esneyerek bugün mutlak sıfırın sadece 2,73 derece üzerinde ve mikrodalgalardan oluşan zayıf bir arka plan halinde. İşte bu, 1964 yılında New Jersey'de bulunan Bell Labs'teki bilim insanları tarafından algılandı.

CMB'den gelen ana sinyalin algılanması yerden mümkün olsa da, ışınım 100.000'de 1'e kadar yumuşadığı için içerdiği herhangi bir yapıyı ortaya çıkarmak çok daha zordu. Büyük ölçekte bakıldığında evrenin tüm doğrultularda aynı göründüğünü söyleyen kozmolojik ilkeyi haklı çıkardığı için bu bir bakıma iyi bir haber.

1 White dwarfs. (ç.n.)
2 Gravitational microlensing. (ç.n.)

Kozmolojik ilke, kâinat içindeki kendi eşsiz konumumuzun sıradan olduğu görüşünü ve evrene dair büyük ölçekte yaptığımız çıkarımların, evrenin karakteristiği olduğunu ifade ediyor. Olmasaydı, kozmoloji bir bilim dalı olarak var olamazdı.

Ne var ki CMB'nin hassas dalgalanmaları Dünya'daki sıcak çevremizdeki diğer sayısız ısı kaynağı arasında kolaylıkla kaybolabilir. Detaylı CMB çalışmaları için gerçekten gerekli olan şey, uzayın derin dondurucusunda gerçekleştirilebilecek, diğer tüm ısı ve radyo gürültü kaynaklarının minimize edilebildiği bir mikrodalga deneyiydi. Çözüm olarak Kozmik Arka Plan Kâşifi (COBE)[1] uydusu, 1989 yılında NASA tarafından Dünya yörüngesine gönderildi. Hassas mikrodalga aygıtlar taşıyan uzay aracı dört yıldan uzun süre gökyüzünü mikrodalga bölgede taradı.

Bilim insanları projenin ilk bulgularını 23 Nisan 1992'de dünyaya duyurdu. Mikrodalga arka planı mutlak sıfırdan yaklaşık 2,73 derece fazla bir sıcaklıkta, kusursuz bir ısısal ışıma tayfına sahipti. COBE verisini analiz eden bilim insanları başlangıçta gökyüzünün bir yanındaki CMB'nin diğer yanından azıcık daha sıcak olduğunu görmüşlerdi. Bunun nedeni Doppler etkisiyle Güneş sistemimizin uzayda saniyede yaklaşık 370 kilometre civarındaki hareketinin bizimle aynı doğrultudaki CMB'de *maviye kaymaya* (kırmızıya kaymanın tersi, ışık daha kırmızı değil daha mavi hale geliyor) neden olurken gökyüzünün diğer tarafında kırmızıya kaymaya neden olmasıydı. Bu etkiyi hesaba kattıklarında CMB'de derecenin 0,0005'te biri civarında bir sıcaklık salınımına denk gelen sıcak ve soğuk lekelerden oluşan inanılmaz bir desenle karşılaşıldı.

Daha sonra dokuzuncu bölümde göreceğimiz gibi, sıcaklıktaki bu dalgalanmalar, son saçılma zamanında uzay boyunca noktadan noktaya ufak farklılık gösteren madde yoğunluğunun

1 Cosmic Background Explorer. (ç.n.)

CMB'deki izleriydi. Bunlar daha sonra kütleçekim sayesinde maddeyi çekecek ve bugünkü evreni oluşturan gökadalar ve gökada kümelerine doğru büyüyecek olan ilk tohumları temsil ettikleri için kozmolojide önemli bir yere sahiptir. COBE projesindeki baş araştırmacılardan biri olan George Smoot, bulgular karşısında heyecanlanınca duygularını "Tanrı'nın yüzünü görmek gibi" diyerek ifade etmişti. Bu keşfi kayda değer bulan Nobel komitesi, Smoot ve meslektaşı John Mather'ı 2006'da fizik alanında Nobel ödülüne layık gördü. Ancak atıfta bulunurlarken önemi daha sade bir tabirle özetlendi ve kozmolojinin bir hassasiyet bilimi oluşunun COBE'yle başlamış olduğu söylendi.

COBE'yi iki uzay aracı daha takip etti. NASA 2001 yılında, Princeton'daki Robert Dicke'in CMB araştırma ekibinin bir üyesi olan (bkz. dördüncü bölüm) ve daha sonra COBE'de de çalışan David Wilkinson'ın şerefine Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlük Sondası'nı[1] fırlattı. Daha sonra 2009'da Avrupa Uzay Ajansı,[2] ısısal ışınımın kuramsal tanımını ilk defa doğru bir şekilde yapan Alman fizikçi Max Planck'in adıyla anılan Planck Mikrodalga Arka Plan Sondası'nı gönderdi. Bu uzay sondaları CMB'deki eşyönsüzlükleri eşi görülmemiş çözünürlükte haritalamayı başardı. Tıpkı yüksek çözünürlüklü televizyonunuz gibi, mikrodalga gökyüzü görüntüleri de gitgide daha çok pikselden oluşmaya başladı ve her seferinde sıcaklık dalgalanmalarının biraz daha ince detayla çözümlenebilmesine imkân verdi.

CMB sıcaklık salınımlarının büyüklüğünün sabit olmadığını fakat bunların haritaya hangi ölçekte baktığınıza göre değiştiğini gösterdiler. Astronomlar gece gökyüzünde yollarını bulmak için derece ve derecenin kesirleri şeklindeki açısal uzaklık terimlerini kullanırlar. Gökyüzünün merkezinde gözlemcinin, yani sizin

1 Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). (ç.n.)
2 European Space Agency (ESA). (ç.n.)



Yukarıdan aşağıya doğru COBE, WMAP ve Planck uzay araçlarıyla elde edilmiş kozmik mikrodalga arka planının tüm gökyüzü haritaları. Her bir sondayla çözünürlüğün artışı daha da belirgin. Tüm gökyüzünü kapsayan görüntüler, Dünya'nın küresel yüzeyini iki boyutlu bir görüntüye aktarırken kullanılan düzleştirme tekniğine benzer şekilde, Mollweide izdüşümüyle gösterilmektedir.

bulunduğunuz bir küre düşünün. Kafanızı sol omzunuzdan sağ omzunuza çevirerek taradığınız yayın açısal büyüklüğü 180 derecedir. Şimdi kafanızı tam önünüze çevirdiğinizde başka bir yay taramış olursunuz, bu seferkinin boyu 90 derecedir. Benzer şekilde gökyüzündeki tüm astronomik cisimlerin açısal büyüklüğü cismin bir yanından diğer yanına bakmak için kafanızı ne kadar çevirmeniz gerektiğini söyleyen açıyla verilir. Örneğin bir astronom dolunayın eninin yarım derece olduğunu söylediğinde bu, Ay'ın gök kürede yarım dereceye karşılık geldiği ve gökyüzünde saatte kabaca 15 derece ilerlediği anlamına gelir. Benzer şekilde CMB dalgalanmalarının ölçeği de açısal büyüklük biriminde ifade edilir.

COBE'nin çözünürlüğü yeterince iyi olmasa da özellikle WMAP ve Planck uzay sondalarına ek olarak Dünya'nın buzlu kutup bölgelerinde yeryüzüne yerleştirilmiş birkaç dedektör ve bazı yüksek irtifalı balon deneyleri, CMB salınımlarının açısal büyüklükle kayda değer ölçüde değiştiğini keşfetmiştir. Her biri bir derece aralıkla serpiştirilmiş rasgele noktalar seçtiniz diyelim. Tüm nokta ikililerindeki sıcaklık farkının ortalamasını hesapladığınızda noktalar arası uzaklığı yarım derece seçtiğinizde bulacağınızdan çok daha büyük bir değer elde ederdiniz. Bunu tüm açısal ayrıklıklar için tekrarlayıp sıcaklık salınımının açısal ölçekle değişiminin grafiğini çizdiğinizde kozmologların *açısal güç spektrumu*[1] adını verdiği grafiği elde edersiniz. Bir dizi pik şeklindeki bu grafik, evrenin fiziksel özelliklerine dair kilit detayları yapısında gizler ve bu detaylar dikkatli analizler sayesinde elde edilebilir.

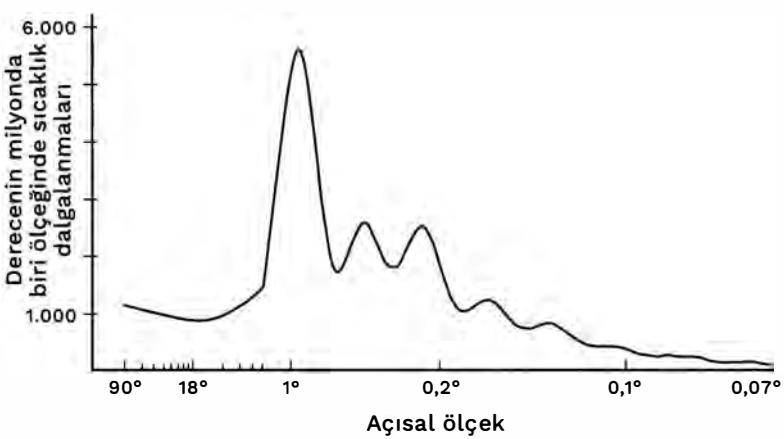
Güç spektrumu, öncelikle evrenin yoğunluğunun neredeyse tam kritik değerde olduğunu onaylamıştır, yani uzayın eğriliği sıfırdır. Gökadalar ve kümeler gibi maddenin yerel yoğunlaşmaları civarında yine düzlükten sapmalar olacaktır ama (alternatif "açık" ve "kapalı" olasılıkların aksine - bkz. üçüncü bölüm) en büyük

1 Angular power spectrum. (ç.n.)

ölçeklerde bakıldığında evren düzdür.

Ancak açısal güç spektrumunun, evreni oluşturan maddenin doğasıyla da ilgisi vardır. Sıradan madde yüklü parçacıklar içerdiği için mikrodalga arka planındaki fotonlarla bir mertebeye kadar elektromanyetiksel bir etkileşimde olacaktır. Bunun aksine karanlık olan ve tanımı gereği hiçbir elektromanyetiksel etkileşimde bulunmayan karanlık madde, CMB'yi ancak kütleçekimi sayesinde etkileyebilir. Bu temel farklılıklar kendilerini güç spektrumunda gözlenen piklerin göreli konumları ve yüksekliklerinde gösterir. Bu veriye ters mühendislik uygulandığında, evrenin kritik yoğunluğunun %95'inin ışınımla etkileşmediği, yani sıradan atomlardan başka bir yapıda olması gerektiği görülür.

İlkel nükleosentez de bunu doğrulamaktadır. Evrendeki sıradan maddenin yoğunluğu hafif elementlerin oluşumunu etkiler; artarsa ilk yıldızlar ve gökadalarda görülen helyum, döteryum ve ağır elementlerin oranı da artmalıdır. Ancak hesaplar, kritik yoğunluğun sadece %5'inin sıradan madde olduğu durumda ön-



Kozmik mikrodalga arka planının açısal güç spektrumu, CMB'nin sıcaklık dalgalanmasının ölçüldüğü açısal ölçeğe bağlı olarak nasıl değiştiğini gösterir.

görülen hafif element miktarlarının gözlemlerle uyum sağladığını göstermektedir.

Bu durumda eğer karanlık madde, Dünya'da aşina olduğumuz her şey gibi protonlar, nötronlar ve elektronlardan oluşmuyorsa neden yapılmış olabilir? Astrofizikçilerin çoğu, karanlık maddenin garip bir tür atomaltı parçacık olabileceğini düşünüyor. Nihayetinde iki temel tür söz konusu: *Sıcak karanlık madde*[1] ve *soğuk karanlık madde*.[2]

Sıcak karanlık madde, evrenin çok miktarda çok hafif parçacıklar olan nötrinolarla dolacağı anlamına gelir. Parçacıklar ışık hızına yakın hareket eder ve bu da "sıcak" tabirinin ortaya çıkma nedenidir (hatırlarsanız, önceki bölümde ilkel nükleosentezi tartışırken hızlı giden parçacıkların sıcak, yavaşların da soğuk olduğunu görmüştük). Başlangıçta nötrinoların kütlesi olduğu düşünülmüştü. Sonra 1998'de Japonya'daki Süper-Kamiokande nötrino dedektörüyle elde edilen gözlemler parçacıkların kütlesi olduğunu doğruladı ancak bu, elektronun kütlesinin milyonda birinden de az, ufacık bir kütleydi.

Yine de bunun ardından evrendeki ilk gökadalar ve kümelerin nasıl oluştuğuna dair yapılan astronomik gözlemlere dayanarak, güvenilir bir karanlık madde adayı olmaktan çıkarıldılar. Daha sonra dokuzuncu bölümde gökada oluşumunu detaylı bir şekilde konuşacağız ancak özetle, eğer evren sıcak karanlık madde tarafından yönetiliyorsa, önce küme boyutunda malzeme bulutları oluşmuş olmalı, sonra daha küçük gökadaları oluşturacak parçalara ayrılmış olmalı. "Tepeden aşağı"[3] gökada oluşumu olarak bilinen bu durumda nötrinolar çok hızlı hareket ettikleri ve diğer maddeyle çok zayıf etkileşimde oldukları için oluşma aşamasındaki küçük ölçekli herhangi bir yapının şeklini almadan, onları

1 Hot Dark Matter (HDM). (ç.n.)
2 Cold Dark Matter (CMD). (ç.n.)
3 "Top-down". (ç.n.)

silerek geçip giderler. Gerçekten gözlenen ve bunun tam tersi olan "dipten yukarı"[1] gökada oluşumunda ise önce ayrık gökadalar oluşur, ardından kütleçekimin etkisiyle birleşerek kümeleri oluştururlar. İşte bu gerçek, sıcak karanlık maddenin elenmesine neden olmuştur.

Soğuk karanlık madde ise aksine ağır ve yavaş hareket eden, gökada büyüklüğündeki başlangıç yapılarından kaçamayacak parçacıklardan oluşmuş olmalı; böylelikle dipten yukarı gökada oluşumuyla da tamamen uyumlu olur. Esas soğuk karanlık madde adayları bizim alışageldiğimiz parçacık fiziğinin bazı sorunlu bileşenleri çözülebilsin diye oluşturulmuş, varlıkları şüpheli kuramsal parçacıklardır.

Örneğin *aksiyonlar*[2] bu olasılıklardan biridir. Bu, kuarklar arasındaki güçlü etkileşimlerde gözlenen *CP-simetrisini* açıklamak için ortaya konmuş bir parçacık türüdür (bkz. dördüncü bölüm). Parçacığın hem "yönlülük"[3] olarak düşünebileceğimiz, esasında parçacığı aynadaki görüntüsüyle değiştiren paritesini,[4] hem de sadece elektriksel yükünü[5] değil, güçlü etkileşim için bir kaynak gibi davranan diğer içsel yük türlerini de tersine çevirirseniz, bu durumda CP-simetrisi, parçacık davranışını düzenleyen fizik kanunlarının değişmeden kaldığını söyler.

Doğanın bu şekilde davranmak için hiçbir mecburiyeti yoktur. Aslında, Büyük Patlama sırasında CP'yi ihlal eden etkileşimlerin gerçekleşmiş olması gerektiğini biliyoruz. Çünkü CP simetrisi, esasında madde ile antimadde arasındaki simetridir. Bir parçacık ile onun antiparçacığı, eş ama zıt yükler taşır ve çarpıştıkları za-

1 "Bottom-up". (ç.n.)
2 Axions. (ç.n.)
3 Handedness: Elimizi 180 derece çevirdiğimizde elin ayna görüntüsünü, 360 derece çevirdiğimizde de başlangıçtaki halini elde etme özelliğini ifade etmek için kullanılan terim. (ç.n.)
4 Parity (P). (ç.n.)
5 Charge (C). (ç.n.)

man ikisinin toplam kütlesi bir anda enerjiye dönüşür ve yok olurlar. 1928'de İngiliz fizikçi Paul Dirac tarafından öne sürülen antimadde 1932 yılında Amerikalı Carl Anderson tarafından deneysel olarak keşfedildi. Evrenimizin antimaddeden değil de neredeyse tamamıyla maddeden oluşması birçok bakımdan iyi haber çünkü Dünya'nın serseri bir antimadde ile karşılaşması muhtemelen "Geçmişler olsun," dedirtirdi. Bu aynı zamanda CP simetrisinin evrensel geçerliliğinin olmadığı anlamına da gelir.

Gerçekten de bilim insanları, atom çekirdeği içindeki protonlarla nötronları bir arada tutan zayıf kuvveti incelediklerinde CP simetrisinin orada da ihlal edildiğini buldular. Yani zayıf kuvvet etkisi altındaki bir parçacık, ayna görüntüsü olan antiparçacıktan farklı şekilde davranır. Ancak gariptir ki, kuarklar arasındaki güçlü kuvvet söz konusu olduğunda durum böyle değildir. Bunun nedeni "güçlü CP problemi" adı altında gizemini korumaktadır. 1977'de İtalyan-Amerikalı fizikçi Roberto Peccei ve Avustralyalı Helen Quinn, güçlü etkileşim kuramını, CP simetrisinin kendiliğinden sağlanmasına imkân verecek şekilde modifiye etmenin olası bir çözüm olabileceğini önerdiler. Planları CP simetrisini enerjik olarak tercih edilebilir kılacak fazladan bir dinamik öğe eklemekti; bu, CP simetrisinin iki tepe arasında bir vadiye benzediğini söylemek gibi bir şey. Bu manzarada topu herhangi bir yere koyduğunuzda vadiye doğru yuvarlanacaktır, bu da işin dinamik kısmı oluyor. Ama tabii ki şimdi kuramda bir de top var; güçlü etkileşim fiziğinde bu yeni bir madde parçacığına tekabül ediyor ve bu da aksiyon oluyor. Eğer Peccei-Quinn kuramı doğruysa, çok sayıda aksiyonun Büyük Patlama'dan hemen sonra oluşmuş olması ve bugün uzayda akmaya devam ediyor olması gerekirdi. Çok zayıf etkileşimde bulunan böylesi bir parçacık, evrendeki karanlık maddenin ciddi bir miktarına karşılık gelebilir.

Maddenin diğer yapılarıyla zayıf etkileşim tüm olası karanlık madde parçacıkları için tanımlayıcı bir özellik; ne de olsa astro-

nomların teleskopla bakınca bu parçacıkları görememelerinin nedeni de bu. Bilim insanları kuvvetli manyetik alanları kullanarak aksiyonları keşfetmek için parçacıkları fotonlara dönüştürmeyi denediler. Ancak umut verici ipuçlarına rağmen henüz böyle bir keşif doğrulanmış değil.

Diğer karanlık madde adaylarını algılayabilmek için yapılan çalışmalar yeni marifetler icat etmek anlamına geliyordu. *Zayıf etkileşimli yüksek kütleli parçacıklar*[1] (WIMP - MACHO'ları hatırladınız mı? Kim demiş astrofizikçiler eğlenmeyi bilmez diye!) olarak adlandırılan bir parçacık grubu özellikle ilgi çekmekte. WIMPler gerçekten varlarsa, *süpersimetri* kuramından ortaya çıkan yüksek kütleli parçacıklardır.

Bunu anlayabilmek için maddenin doğasını anlamanız gerekir. Maddeyi oluşturan parçacıklar, *bozonlar* ve *fermiyonlar* olmak üzere, *kuantum mekaniksel spin* adı verilen özelliklerine göre iki ana aileye ayrılırlar. Gelecek bölümde kuantum mekaniği üzerinde daha detaylı konuşacağız ama kabaca spinin kuantum kuramında dönme durumundaki simetriyle ilgili olduğunu söyleyebiliriz. Spini 1 olan bir parçacık bir tam tur attıktan sonra, yani 360 derece döndükten sonra yine aynı görünür. Spini 2 olan bir parçacık yarım tur attıktan sonra (180 derece) aynı görünürken, spini 1/2 olan bir parçacık ancak iki tam turun ardından (720 derece) aynı şekilde görünür. Bozonların spinleri tam sayılardır (1, 2, vb.) fakat fermiyonların spinleri buçukludur (1/2, 3/2, vb.). Bildiğimiz parçacıklar arasında fotonlar spini 1 olan bozonlardır, henüz tanıştığımız aksiyonların spini ise 0'dır. Elektronlar, protonlar ve nötronların hepsi de, spini 1/2 olan fermiyonlardır.

Parçacık fiziğinin büyük kısmı simetri olgusu üzerine inşa edilmiştir: Tıpkı aksiyonun öngörülmesine yol açan CP simetrisinde

1 Weakly interacting massive particles (WIMP) kısaltmasının Türkçesi "pısırık" anlamına geliyor. (ç.n.)

olduğu gibi, bir parçacığın özelliklerinin dönüşümü fizik kanunlarını etkilemez. Süpersimetri, bozonlar ve fermiyonları kapsayan bir simetriyi ifade eder. Bu durumda aşina olduğumuz her parçacığın diğer aileden bir süpersimetri arkadaşı olmalıdır. Yani kendisi bozon olan fotonun fermiyonik bir süper arkadaşı (*fotino*) ve kendisi fermiyon olan elektronun da bozonik bir arkadaşı (*selektron*) olmalı. Süpersimetrik arkadaşların çoğu WIMPlerin tanımına uyar ve böylece evrendeki karanlık madde hesabına katılabilirler.

WIMPleri algılayabilmek için girişimlerde bulunulmuştur. Fizikçiler, İsviçre ile Fransa sınırında yer alan CERN'deki devasa büyüklükteki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda[1] atomaltı parçacıkları aşırı yüksek enerjilerde çarpıştırarak, WIMPlerin de dahil olduğu etkileşimleri harekete geçirmeye çalıştılar. Örneğin bilim insanları bir deneyde, bozunup yakalanması güç parçacıklara hızla dönüşeceklerini umdukları parçacıklar oluşturmaya çalıştılar. Eğer bu gerçekleşseydi, karanlık maddeye bozunduğunda parçacığın görünür izinin aniden yok olduğu gözlenecekti.

Diğerleri daha doğrudan bir yöntem izlediler. Eğer WIMPler varsa büyük bir miktarı şu anda vücudunuzdan geçip gidiyor olmalı. Zayıf etkileşimli oldukları için bunların çoğu hiçbir engele uğramadan geçip gidecektir ve hatta bir WIMP ile sizin içinizdeki atomlardan biri çarpışacak olsa bile etrafımızdaki diğer parçacıklar ve kayıp giden ışınım arasındaki etkileşim ve çarpışmalar arasında bu çarpışmayı fark etmek imkânsız olur. Ancak bir diğer fikir de, araştırmaya yeraltının derinliklerinde devam edildiğinde, başınızın üstünde her şeyi engelleyecek bir kilometrelik bir kaya olursa, WIMPin neden olduğu etkileşimleri görmek için şansınız olabileceği yönünde.

Yönlü Geri Çekilmelerin İzlerden Tanımlanması[2] projesinde

1 Large Hadron Collider (LHC). (ç.n.)
2 Directional Recoil Identification From Tracks (DRIFT) kısaltmasının Türkçesi sürüklenmek anlamına gelir. (ç.n.)

çalışan bilim insanlarının yapmaya çalıştığı şey de bu. İngiltere, North Yorkshire'da, yerin 1100 metre altında bir potas madeni olan Boulby Madeni'nde bir dedektör var. Dedektör 34.000 volt'luk bir elektrik alan içinde karbon disülfit ve karbon tetraflorid gazları içeren bir metre küplük bir odadan oluşuyor. Etrafındaki kayalardaki radyoaktif elementlerin ışımalarından korunmak için oda 45 santimetre kalınlıkta bir kalkanla sarılı. WIMPin gazdaki bir atomla çarpışması durumunda *iyonizasyon* adı verilen süreç sayesinde elektronlarının bazılarının hakkından gelinmesi amaçlanıyor. Böylece bu negatif yüklü elektronlar elektrik alanı içinde parçacık dedektörüne doğru sürüklenerek dolaylı yoldan WIMPlerin algılanmasını sağlayacaklar. En azından kuram bu şekilde. Bugüne kadar ne DRIFT ne de ortamdaki karanlık madde parçacıklarını algılamaya çalışan deneylerin herhangi biri böyle bir sonucu onaylamış durumda. Aynısı parçacık hızlandırıcılarda oluşturulan çarpışmalarda WIMPleri görme denemeleri için de geçerli.

Kısacası, kütleçekimsel etkinin evrende görebildiğimiz parlak malzemedeki etkisinin ötesinde, karanlık maddenin doğasını anlamak için yapılan hiçbir deney ya da gözlem olumlu bir sonuç vermiş değil. Bu biraz endişe verici. Ancak şu da var ki Einstein'ın genel görelilik kuramının direnen son öngörüsü olan kütleçekimsel dalgaların gerçekten algılanması da 100 yıl sürdüğüne göre belki biraz sabırsızlanıyor olabiliriz.

Her zamanki gibi doğanın hayatı ilginç kılmaya devam edeceğine emin olabiliriz. Sanki karanlık madde gizemi yeterince kafa karıştıcı değilmiş gibi diğer deneylerin sonuçları da tezgâhı tamamen altüst etti. Yirminci yüzyıl biterken bir grup uluslararası kozmolog karanlık maddenin evrende kozmologların yetindiği tek görünmez malzeme olmadığını ortaya koyan yeni sonuçlar bulduğunu duyurdu. Bulguları doğruysa görünür ve karanlık madde bir araya geldiğinde, evrenin toplam kütlesinin ancak %30'u civarını

oluşturuyor olmalı. Geri kalansa, varlığı evrenin genişlemesinin ivmelenmesine neden olan, karanlık enerji adı verilen garip bir madde.

Evrenin nihai kaderinde bunun ciddi ölçüde etkisi olabilirdi. Ancak karanlık enerji içermeyen düz bir evren, uzak gelecekte yavaş yavaş durmaya yaklaşırken, karanlık enerjinin ivmeli kozmik genişlemeyi beslediği durumda genişleme öngörülemez bir orana erişebilir.

Yine de kendimizi aşmayalım. Karanlık enerji muhtemelen düşünebildiğimiz en küçük ölçeklerdeki fizikten türemekte. Ve bu nedenle, bu çok küçük fiziğin hakkını verebilmek için önce ne olduğunu anlamamız lazım. Dilerseniz kuantum mekaniğinin o baştan sonra şaşırtıcı ilminde hızlı bir gezintiye çıkalım!

ALTINCI BÖLÜM

Kuantum Molası

"Kuantum kuramıyla ilk defa karşılaşıp da afallamayanın onu anlamış olması mümkün değildir."

NIELS BOHR

Evrenin genişlemesini Büyük Patlama'ya doğru geri sararken karşılaştığınız yaratılma ânının hemen öncesinde evren o kadar küçüktür ki burada normal fizik kanunları işlemez. Evren kuantum diyarındadır. Bunu anlamak, karmaşık kuantum fiziği kanunlarını anlamak demektir.

Kuantum kuramı herhangi birinin anlayabileceğini umduğu en şaşırtıcı, kaygan ve alışılmadık fizik dallarından biridir. Basitçe söylemek gerekirse, bilimin çok küçük şeylerin davranışlarıyla ilgilenen kısmıdır. Çok küçük şeylerden kastımız mısır gevreklerinden çıkan minik oyuncaklar, ufak taşlar ya da toz parçacıkları değil, boyu milimetrenin bin milyarda birinden (0,000000000001) de küçük, maddenin süper küçük atomaltı parçacıkları. Bunlar, her şeyi oluşturan yapıtaşları, Büyük Patlama'nın ilk anlarında evrenin daha sonra alacağı kozmik manzarayı şekillendiren araçlardır.

Kuramın temel ilkelerinden biri, en küçük ölçekteki enerji ve maddenin bölünemez ayrık yığınlar halinde olduğudur. Bunu günlük hayatımızda tecrübe ederiz. 10 santimetre uzunluğunda bir

kâğıt şerit alın ve ikiye bölün. Artık 5 santimetrelik iki parçanız var. Birini atıp diğer parçada bu yaptığınızı tekrarlarsanız boyu 2,5 santimetre, sonra 1,25 santimetre olur ve böyle devam eder. Çok küçük ölçeklerdeki fizik, bizim boyutlarımızdaki dünyanın yapabildiklerini taklit edebiliyorsa, teorik olarak bu işleme dilediğiniz kadar devam edebilirsiniz. Ne var ki sıra uygulamaya geldiğinde artık daha fazla bölemeyeceğiniz kadar küçük bir parçayla baş başa kalırsınız. Bu ufacık, bölünemez parçacıkların genel adı *kuanta* olarak bilinir ve davranışlarını açıklamamızın en iyi yolu kuantum kuramıdır.

Doğanın bu işleyişine dair ilk ipucunu 1900 yılında Max Planck ortaya çıkardı. Planck, nesnelerin sıcaklıkları etkisiyle saldıkları ışık ve diğer ışınımlar olan ısısal ışınımın doğası üzerine araştırmalar yapıyordu. Örneğin şöminedeki metal maşanın kızgın kırmızı ışıltısı. Sıcaklık arttığında maşanın rengi de kırmızıdan sarıya ve sonra da beyaza dönüşür. Fizikçiler bunu kuramsal olarak açıklamakta zorlanıyorlardı. Ancak Planck, belirli bir sıcaklıktaki cismin belirli bir dalga boyunda saldığı ısısal ışınımın şiddeti için matematiksel bir formül üreterek çözümü bulmuştu.

Yeri gelmişken, Planck formülü, sıcaklığı mutlak sıfırın 2,73°C üstündeki cisimlere uygulandığında çıkan sonuçlar, COBE uydusunun 1992 yılında devrim yaratan kozmik arka plan ışınımının ölçümlerini parlaklık gücünün dalga boyuna karşılık bir grafiği şeklinde ilettiği ışınım tayfı (bkz. beşinci bölüm) ile eşsiz bir uyum sergilemişti.

Ancak kuramda bir gariplik, acayiplik vardı. Çalışmasını sağlamak, tahminleri gözlemlere uydurmak için Planck, ışınımın enerjisinin çok sayıda bölünmez birimden oluştuğunu varsaymak zorunda kalmıştı. Bu birimlerin her birinin enerjisi, ışınımın frekansı ile 6,6'nın 10.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000'a bölünmesiyle elde edilen, *h* harfiyle gösterilen ve Planck sabiti olarak bilinen çok küçük bir sayının çarpımına eşitti. Aslında bu sadece

Planck'ın matematiksel işlemlerini basitleştirmek için yapılmış bir kolaylıktı ancak kısa zamanda derin bir fiziksel öneminin olduğu ortaya çıktı. Beş yıl sonra, henüz kariyerinin başlarında olan başka bir Alman fizikçi sayesinde bu ilişki iyice sağlamlaştı.

Albert Einstein elektronların (negatif elektrik yüklü ufak atomaltı parçacıklar) belirli bir eşik değerin üzerinde ışığa maruz kalan bir metalden nasıl yayıldıklarını ifade eden *fotoelektrik etki*nin kuramsal bir tanımını yapmaya çalışıyordu. Işığın farklı renkleri farklı frekansa denk gelir ve en azından morötesi (frekansı 1000 milyon megahertz) ışığa gereksinim duyan fotoelektrik etkiyi tetikler. Işığı elektrik ve manyetik enerji dalgası olarak tanımlayan mevcut kuram bu olguyu açıklamaya yetmiyordu. Einstein, ışık bir dizi bilardo topu gibi hareket ediyorsa, elektronlarla çarpıştığında ancak her top belirli bir eşik enerjisini aştığı takdirde elektronların metalden atılabileceğini fark etti. Planck formülünde enerjiyi hesaplamak için ışığın frekansını kullandığında, gözlenen gerekli eşik enerjisi açıklanabiliyordu.

Fotoelektrik etkiyle ilgili bulgularını 1905 yılında yayımlayan Einstein 1921 yılında bu keşfiyle fizik alanında Nobel ödülü kazandı. Elektronların sıçradığına dair ilk doğrudan deneysel kanıtı olan ve *Compton saçılması* olarak bilinen olguyu sunan Amerikalı fizikçi Arthur Compton, sorumlu ışık parçacıklarını ancak 1923 yılında doğrudan gözlemleyebildi. Planck parçacıkların enerjisini çözmüşken, 1924 yılında Fransız fizikçi Louis de Broglie ise cismin hızı ile kütlesinin çarpımından elde edilen ve katı parçacıkların bir başka özelliği olan momentumlarını hesaplamayı başarmıştı. De Broglie ışık kuantasının momentumunun Planck sabiti *h*'nin dalga boyuna bölünmesiyle elde edildiğini buldu. Daha sonra ışık parçacıkları 1926 yılında Amerikan kimyager Gilbert Lewis tarafından, Yunanca "ışık" anlamına gelen *phos* kelimesinden yola çıkarak *foton* olarak adlandırıldı.

Fotonun keşfi yüzyıllık tartışmadaki son dönemeçti. On ye-

dinci yüzyılda Sir Isaac Newton'ın da içlerinde yer aldığı fizikçiler, ışığın birçok ufak parçacıktan ya da *yuvarlar*dan[1] oluştuğunu tartışıyordu. Sonra 1801'de İngiliz fizikçi Thomas Young ışığın bir dalga olduğunu gösteren deneyler yaparak bunu altüst etti.

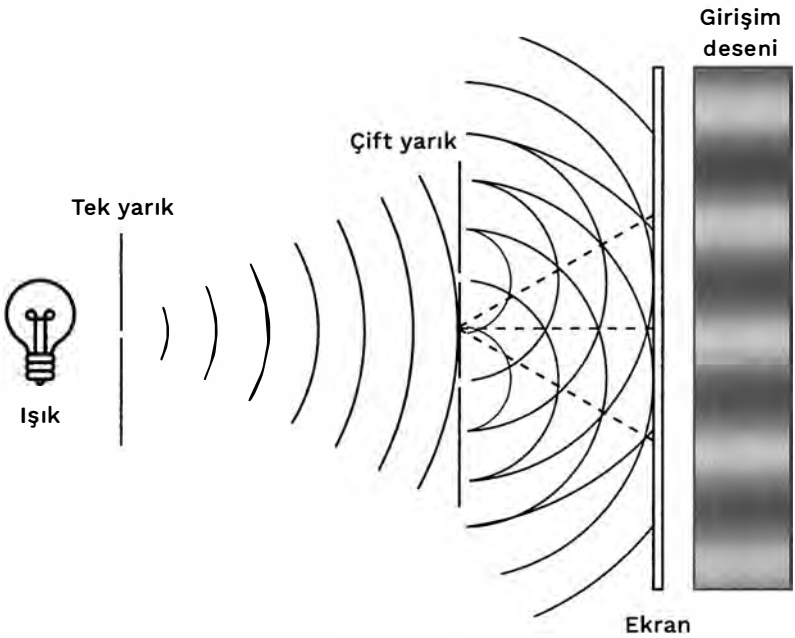
Young, bir ışık demetini üzerinde yarık bulunan bir ekrana yansıtmıştı. Yarıktan yayılan ışık, üzerinde iki yarık bulunan ikinci bir ekrana düşürülüyordu. Buradan da üzerinde herhangi bir yarık olmayan üçüncü bir ekrana yansıtılmıştı. Ancak son ekran düzgün bir şekilde aydınlanmıyor, aydınlık ve karanlık bölgelerden oluşan, *girişim saçakları*[2] adı verilen bir desen oluşuyordu. Bu etkiyi doğal yoldan açıklayabilmek için ışığın dalga dalga olması gerekiyordu, tıpkı bir su birikintisine yan yana iki taş attığınızda olduğu gibi; iç içe dalgalar dışa doğru yayılarak örtüşür, iki dalganın yüksekliği birbirine eklenir. Dalga deseninde iki tepe buluştuğunda daha büyük bir tepe oluşur. Benzer şekilde iki çukurun denk geldiği yerlerde de sonuç daha derin bir çukurdur. Ancak bir çukur ile tepe karşılaştığı zaman birbirlerini sıfırlarlar.

Young'ın çift yarıklı deneyi de benzer şekilde davranış gösteriyordu. Işık dalgalarının iki tepe ya da çukuru ekranda karşılaştığında sonuç aydınlık bir bant oluyordu. Öte yandan bir tepe ile bir çukur buluştuğunda karanlık bir bant oluşturuyorlardı. Böylelikle ekranda dönüşümlü bir aydınlık ve karanlık saçak deseni meydana geliyordu. Kanıt ortadaydı: Işık bir dalga olmalıydı.

En azından foton ortaya çıkana dek durum böyleydi. Şimdi bilim insanları, ışığın ve elektromanyetik ışınımın diğer tüm biçimlerinin aynı anda hem dalga hem de parçacık gibi davrandığı gerçeğini kabullenmek zorundalardı. Ancak fizikçiler bu bombanın etkisinden henüz kurtulamamışken işler bir kez daha epeyce garipleşti.

De Broglie, bir fotonun momentumu için bulduğu formülü

1 Corpuscles. (ç.n.)
2 Interference fringes. (ç.n.)



Thomas Young'ın 1801'de yaptığı çift yarık deneyinde iki ışık kaynağı birbiriyle etkileşime girince ekran üzerinde aydınlık ve karanlık saçaklardan oluşan bir desen oluşmuştu. Bu, ışığın dalga gibi davrandığının kanıtı olarak kabul edildi.

tersine çevirebileceğini fark etti. Bu durumda momentumu olan herhangi bir cismin belirli bir dalga boyu da olmalıydı. Dalgalar sadece katı cisim gibi davranmakla kalmıyor, katı cisimler de dalga gibi davranıyordu. İnsanlar, arabalar, uçaklar gibi gündelik cisimlerin dalga boyları kendi boyutlarına oranla çok küçük kaldığı için katı cisim davranışları baskın geliyordu. Ancak ufak atomaltı parçacıklar için hikâye farklıydı.

Bu durum 1927'de bir deneyle layığıyla ispatlandı. New Jersey'deki Bell Labs'te çalışan Clinton Davisson ve Lester Germer, nikel kristaline bir elektron demeti ateşlediler. Kristallerin atomları muntazam düzenli örgüde, katı bir şekilde düzenli olduğu için

malzemenin kristal olması önemlidir. Araştırmacılar, elektronların de Broglie dalga boyunun, örgü yapısındaki atomlar arasındaki mesafeyle kabaca aynı olması gerektiğini hesapladılar. Yani kristaller *kırınım*[1] olarak bilinen bir olgu meydana getiriyordu. Bu, aralarında incecik boşluklar olan çok fazla paralel çizgi ile kesikli bir parça cama düşürülen ışık sayesinde gözlenebilir. Eğer çizgiler arasındaki boşluk ile ışığın dalga boyu kıyaslanabilir durumdaysa, ışık kendisini oluşturan renklerin tayfına ayrılarak ve yayılarak kırınır. Gerçekten de nikel kristalin diğer tarafında ortaya çıkan elektronlar da aynı şekilde dağılırlar. Maddenin katı parçacıkları olan elektronlar da, tıpkı de Broglie'nin öngördüğü şekilde, aynı bir ışık dalgası gibi kırınıma uğrayabilirler.

Madde ve ışınımın aynı anda dalga ve parçacık doğasında olması *dalga-parçacık ikiliği*[2] olarak bilinir. Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger'in bu konuya ilgisi de bunun ortaya konmasının ardından baş göstermiştir. Schrödinger 1887 yılında Viyana'da doğdu. Fizik eğitimi gördüğü Viyana Üniversitesi'nden 1910 yılında mezun oldu. Birinci Dünya Savaşı sırasında Avusturya topçu sınıfında göreve gitmeden önce, fizikçi Franz Exner'e asistanlık yaptı. 1918'den sonra Almanya'da Jena ve Stuttgart, Polonya'da ise Wroclaw şehirlerinde kısa süreli akademik pozisyonlarda çalıştıktan sonra 1921 yılında, altı yılını geçireceği Zürih Üniversitesi'ne geçti. De Broglie'nin, maddenin dalgalarının davranışını tanımlayan matematiksel bir kanun olup olmadığına dair merakı burada geçirdiği sürede ortaya çıktı.

Schrödinger, 1925 yılında aradığını buldu. Klasik fizik çerçevesinde (yani kuantum olmayan) hareket eden bir cismin, enerji ve momentumu ile dalganın standart matematiksel denklemi ve de Broglie'nin parçacığın momentumu ile dalga boyunu birleştiren

1 Diffraction. (ç.n.)
2 Wave-particle duality. (ç.n.)

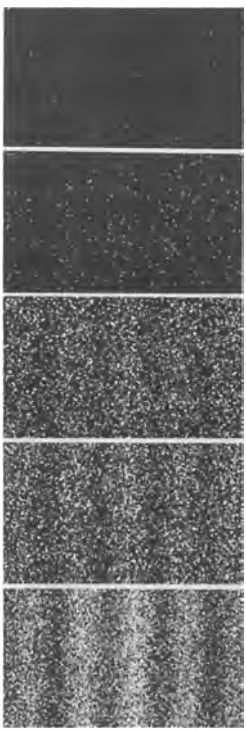
du. Ancak Schrödinger'in kendisi de dahil hiç kimse, dalga fonksiyonunun gerçek dünyada neyi temsil ettiğinden emin değildi.

Bulmacanın bu kısmını, Schrödinger'in denklemi nasıl türettiğini gösteren makalesinin yayımlanmasından kısa bir süre sonra, 1926 yılında Alman fizikçi Max Born çözdü. Born, dalga fonksiyonunun bir olasılığa karşılık geldiğini fark etmişti. Örneğin bir elektronun dalga fonksiyonunun karesi, parçacığın herhangi bir zamanda uzayın herhangi bir yerinde bulunma olasılığını veriyordu. Parçacığın olasılık dalgası size yaklaştıkça, ölçüm yaptığınız takdirde onu yakınınızda bulabilme olasılığınız artacaktır. Ancak ölçümü yaptığınız âna kadar tam olarak nerede olduğunu söylemek imkânsızdır.

Tıpkı kötü hava emaresi bulutlar ufukta görününce hava durumunun yarın öğleden sonra çeşitli yerlerde yağmur yağabileceğini söylemesi gibi. Ancak arada ufak bir fark var. Hava durumu tahminleri size olasılığı söyledikleri zaman bu aslında bilgisizliğin bir yansımasıdır. Doğa ne yapacağını zaten bilse de, meteorologlar bunun tam olarak ne olduğunu ortaya koyabilmek için gerekli ölçümleri yapamamaktadır. Ancak kuantum dünyasında bu tesadüfilik gerçektir. Parçacığın nerede olduğunu biz bilmiyor değiliz, doğanın kendisi de bilmiyor. Bir ölçüm yapılana dek parçacık dalga fonksiyonuna göre uzayda yayılmış haldedir, kelimenin gerçek anlamıyla aynı anda birçok yerdedir.

Bu durumu, 1801'de Young'ın yaptığı deneyin 1976'da İtalyan fizikçi Pier Merli, Gian Missiroli ve Giulio Ozzi tarafından gerçekleştirilen tekrarı kadar güzelce açıklayabilecek bir şey daha yok. Işık yerine, dalga-parçacık ikiliği sebebiyle bir dalga boyuna sahip olan ve bu sayede saçak deseni oluşturacak şekilde girişimi mümkün kılan bir elektron demeti kullandılar. Deneyin en iyi yanı ise, her seferinde tek bir atom gönderebilecekleri bir aparat kullanmış olmaları. İnanılmaz bir şekilde araştırmacılar bunu yaptıklarında her bir nokta tek bir elektronun etkisine karşılık gele-

cek şekilde noktalardan oluşan desen ekranda yavaşça belirirken ortaya çıkan girişim saçaklarının deseni tam da ilk kez Young'ın gördüğü şekli yeniden oluşturuyordu. Bu ancak her bir parçacığın kendisiyle girişim oluşturmasıyla mümkün olabilirdi. Yani dalga fonksiyonu her iki yarıktan da geçiyor ve Young'ın gördüğü desene benzer şekilde ekranda bir dizi olasılık tepesi oluşturuyordu. Tepeler parçacık ekrana çarptığında bulunması en olası yerleri gösteriyordu ve böylelikle aydınlık ve karanlık saçaklar zamanla yeniden oluşuyordu.



Çift yarık deneyi tek tek elektronlarla tekrarlandığında elektronların etki noktalarının zamanla ekranda birikmesi sonucu yavaş yavaş 1801'de Thomas Young'ın gözlediği girişim deseni oluşuyordu. Bu görsel, Japon fizikçi Akira Tonomura ve ekibinin 1989'da gerçekleştirdiği deneyde oluşturulmuş.

Araştırmacılar, aynı zamanda elektronların hangi yarıktan geçtiğini ölçme çalışmaları yapıldığı takdirde desenin bozulduğunu ve iki yarığın basit bir yansıması şeklinde hiçbir girişim oluşmadan, ekrandaki görüntünün sadece iki parlak şerit halini aldığını buldular.

Kuantum özelliğinin, ölçülene kadar dalga yapıda, ölçüldüğü anda ise parçacığa dönüşmesi fikri *dalga fonksiyonunun çökmesi*[1] olarak biliniyor. Ölçümü yapan gözlemciye özel bir önem atfediyormuş gibi göründüğü için fizikçilerin hepsi bu fikre sıcak bakmıyordu. Schrödinger'in kendisi de buna pek bayılmıyordu ve meşhur kutu içindeki kedi ve kuantum parçacıklarına bağlı bir şişe dolusu ölümcül zehir benzetmesini ortaya attı. Eğer kaynaktan bir parçacık salınırsa zehir dökülecek ve kedi ölecekti. Ancak parçacığın salınması (ya da salınmaması) bir tür kuantum durumu olduğu için dalga fonksiyonuyla tanımlanıyordu ve bu da kutu açılana kadar parçacığın hem salınmış, hem de salınmamış olduğu anlamına geliyordu. Bu durum kedinin aynı anda hem ölü, hem de diri olduğu bir paradoks oluşturmuştu.

Schrödinger'in kedisi, dalga fonksiyonunun çökmesinin ne kadar anlamsız olduğunun altını çizen bir düşünce deneyiydi. Daha sonra yerini, ilk kez 1970'te Alman fizikçi H. Dietr Zeh'in öne sürdüğü ve *eşevresizlik*[2] olarak adlandırılan daha iyi bir düşünceye bırakmıştı. Buna göre parçacığın yaygın, gölgeli dalga halini uzayda belirli bir konumda katı bir madde yığınına dönüştürerek dalga fonksiyonunun çözülmesine neden olan şey kuantum sisteminin ölçülmesi değil, o kırılgan dalga durumunun etrafını çevreleyen ortamla etkileşime girmekti. Schrödinger'in kedisini içeren düşünce deneyinde parçacığın dalga fonksiyonu zehrin şişesiyle etkileşmek zorundaydı ve bu da haliyle daha kutu açılmadan zehrin

1 Collapse of the wave function. (ç.n.)
2 Decoherence. (ç.n.)

akmasına neden olacaktı, yani kedi ya ölü ya da diri olabilirdi, ama asla ikisi birden olamazdı.

Kuantum kuramının sarsılmaz yapıtaşlarından biri olan Schrödinger dalga denklemi 1933'te Schrödinger'e fizik dalında Nobel kazandırdı. Ancak sadece Newton fiziğine dayanan fikirlerin genişletilmesiyle üretilmiş ve Einstein'ın özel görelilik kuramı hiç hesaba katılmamış olduğu için, sadece ışık hızından oldukça yavaş hareket eden parçacıklar için güvenilir bir tanım sunuyordu. Çare, 1928 yılında Britanyalı kuramsal fizikçi Paul Dirac'tan geldi. Dirac denklemleri özel görelilik savları üzerine kurulmuş olduğu için, haliyle hızlı hareket eden elektronların davranışını tanımlayabiliyordu.

Ortaya çıkan kuram beklenmedik faydalar sunmuştu. Örneğin özel görelilik ile kuantum dünyasının ilkeleri birleştirildiğinde bir önceki bölümde gördüğümüz gibi kuantum parçacıklarının dönme özelliklerini tanımlayan kuantum spini gerçekten de öngörülebilir hale gelmişti. Elektron gibi spini 1/2 olan bir parçacık ancak iki tam tur döndükten sonra başlangıçtaki halini alıyordu.

Aynı zamanda Schrödinger denkleminden maddenin tek bir parçacık olarak tanımlandığı matematiksel bir çözüm olarak ortaya çıkan şeyin, Dirac'ın senaryosunda aslında iki çözümü olduğunu da açığa çıkardı; biri maddenin parçacığını tanımlarken, diğeri antimaddeninkini tanımlıyordu. Gerçekten de Dirac denklemi, elektrik yükü gibi temel özellikleri zıt olan parçacıkların, yani antimaddenin varlığını öngörmüştü. İlk antimadde parçacığı olan *pozitron* (ya da anti-elektron) birkaç sene sonra, 1932 yılında deneysel olarak keşfedildi.

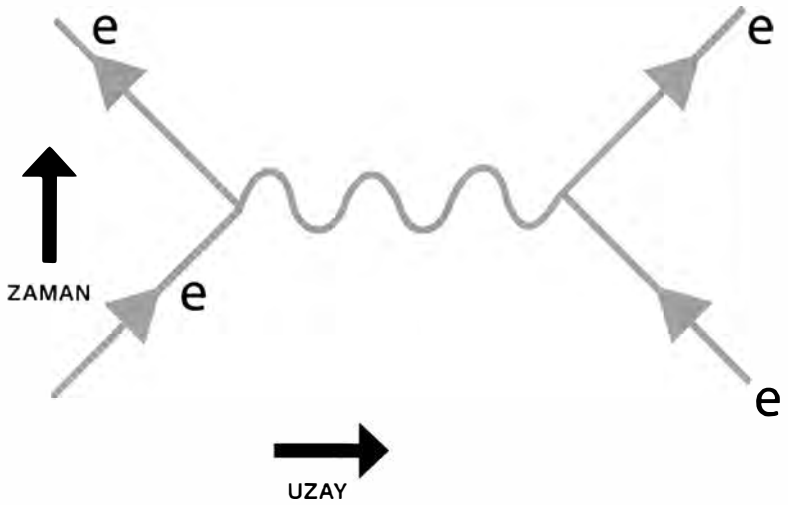
1930'lu yıllarda Dirac denklemi, sadece elektronları değil aslen Planck tarafından tanımlanmış halihazırda foton ışınımı olarak bilinen yüklü parçacıklarla elektromanyetik alan arasındaki genel etkileşimi de tanımlayacak şekilde gelişti. Yani iki elektrik yükü kuantum dünyasında etkileştiğinde, bunu birbirlerinden dal-

galar sektirerek değil, karşılıklı foton değiş tokuşu yaparak gerçekleştiriyorlardı. Ancak kuramın hâlâ eksikleri vardı. Örneğin hidrojen atomunun enerji seviyelerinin yarıldığını ortaya çıkaran gözlemlerin açıklanmasında Dirac denklemi kendi başına yeterli gelmiyordu: Tek bir enerji seviyesi olduğu zannedilirken, kâşifi Amerikalı Fizikçi Willis Lamb'ın adıya *Lamb kayması* olarak bilinen olguda, enerji seviyesi aslında aralarında az bir enerji boşluğu olan iki seviyeye ayrılıyordu.

Bu pürüzler, 1940'lı yılların sonlarında, birbirinden bağımsız çalışmalar sürdüren Japon fizikçi Sin-Itiro Tomonaga ve Amerikalı Julian Schwinger tarafından giderilmişti. Bir diğer Amerikalı, Richard Feynman, bu aşırı karmaşık kuramı anlaşılır ve basit hesaplamalarda kullanılabilir hale getirmenin yolunu bulmuştu. Feynman'ın olasılıkları hesaplama yöntemi *yol integrali*[1] formülasyonu olarak adlandırılıyordu. Esasında, iki nokta arasında hareket eden bir parçacığın olasılığını hesaplamak istediğinizde yol integrali yaklaşımı, parçacığın izlemesi olası tüm rotaların olasılıklarının toplanması anlamına geliyordu. Feynman bu işlemi kendi geliştirdiği bir görselleştirme aracı olan *Feynman şemaları*nı kullanarak basitleştirdi. Parçacığın izleyebileceği her yol için belirli bir Feynman şeması atanmıştı. Feynman şemalarıyla bir yol integral hesabı yapmak için ilgili tüm şemaları çizip her biri için yol integrali hesabına karşılık gelen matematiksel terimi kolayca ekleyebilirsiniz.

Kuantum elektrodinamiği[2] ya da sıklıkla kısaltıldığı haliyle QED[3] olarak bilinen bu kuram, başarısıyla üç kâşifin 1965 yılında fizik dalında Nobel ödülü almasını sağladı. Lamb kayması problemini çözdüğü gibi, diğer sorunları da ortadan kaldırmıştı. Gerçekten de öngörülerinin doğruluğunun milyarda 1'den (1.000.000.000'de 1) de iyi olduğunu teyit eden deneysel testlere bakıldığında fizikçiler

1 Path integral. (ç.n.)
2 Quantum electrodynamics (QED). (ç.n.)
3 Türkçe kaynaklarda bu kısaltmayı KED olarak görebilirsiniz. (ç.n.)



Birbirini sektiren iki elektronu gösteren Feynman diyagramı. Negatif yüklü her iki elektron da diğer parçacığın itilmesine neden olur. Bunu mümkün kılan, bir elektromanyetik alan parçacığı olan fotonun, diyagramın ortasındaki kıvrımlı çizgiyle gösterildiği şekilde takas edilmesidir.

bunu şimdiye kadar oluşturulmuş en keskin fiziksel kuram olarak kabul ediyor.

QED, *kuantum alan kuramı*nın[1] işleyen ilk örneği olarak kabul ediliyor. Kuantum alan kuramı, tek bir parçacık veya tek bir ışınım demetinin davranışından bahsetmek yerine uzay boyunca yayılmış madde alanlarını ve bunlar arasındaki etkileşimleri tanımlar. Her ne kadar parçacıkları evrendeki en temel cisimler olarak kabul etmiş olsanız da, aslında kuantum kuramı gerçek temel varlıkların alanlar olduğunu açığa çıkardı. Parçacıklar, alanın *uyarım*larına[2] karşılık verir. Alanı dalgalı bir gölün yüzeyi gibi düşünebilirsiniz. Gölün yüzeyini biraz fazla rahatsız ederseniz yüzey

1 Quantum field theory. (ç.n.)
2 Excitation. (ç.n.)

boyunca hareket eden bir dalgalanmaya neden olursunuz ve suyun bu uyarımı tıpkı uzaya sinmiş olan kuantum alanının altında yatan uyarımlardan ortaya çıkabilen parçacıklara benzer şekilde ayrık, algılanabilir olgular oluşturur.

QED, doğadaki diğer kuvvetlerin tanımlanmasında da bir mihenk taşıdır. 1950'ler ve 1960'larda fizikçiler, atom çekirdeğindeki nötron ve protonları oluşturan kuarklar arası etkileşime aracılık eden güçlü çekirdek kuvvetinin kuantum alan kuramı olan *kuantum renk dinamiği*ni[1] oluşturdu. Her ne kadar sadece soyut bir etiketten ibaret olan bu isim gerçek dünyadaki renklerle tamamen alakasız olsa da kuarkların modelde sahip oldukları, kurgulanan "renk değişimi"ni de desteklemekteydi (Richard Feynman bu muğlak terminoloji için "aptal fizikçilerle" alenen dalga geçmişti). Elektrik yükü pozitif veya negatif olabilirken, renk yükünün olası üç değeri vardı (kırmızı, yeşil ve mavi), kuarklarsa altı farklı aromada[2] bulunuyorlardı (yukarı, aşağı, üst, alt, tuhaf ve tılsımlı). Elektromanyetik kuvvet, fotonların hareketleriyle mesafeler boyunca aktarılabilirken, güçlü kuvvet (kuarkları bir arada tuttuğunu hatırlayın) etkisini *gluon* adı verilen parçacıklar vesilesiyle gösterebilmektedir. Her ne kadar tüm bunlar QCD'nin ve kuark modelinin bir şakası gibi görünse de, öngörüleri desteklemek için kayda değer miktarda deneysel kanıt toplanmış durumda. QED kadar test edildiğinin söylenemeyeceği doğru, fakat öngörülerine inanmak için her türlü nedenimiz mevcut.

1970'lerde, elektromanyetizma ve doğanın atom çekirdeği içinde hüküm süren diğer kuvveti olan zayıf kuvvet, bilim insanlarının her ikisini de güzelce kapsayan tek bir kuram oluşturması sayesinde birleşmişti. Zayıf kuvvet kuarklar arasındaki etkileşime aracılık etmektense atom çekirdeğini oluşturan proton ve nötron-

1 Quantum chromodynamics (QCD). (ç.n.)
2 Flavour. Türkçede "çeşni" olarak kullanıldığını da görebilirsiniz. (ç.n.)

ları bir arada tutar ve kimi kararsız atom çekirdeklerinin zamanla parçalandığı radyoaktif bozulma sürecini kontrol eder. *Elektrozayıf kuram*'ın[1] öngörülerinin birçoğu, evrenin geçmişinin ilk zamanlarında diğer parçacıklara kütle aktardığı düşünülen (dahası sekizinci bölümde) Higgs bozonunun algılanması da dahil olmak üzere, deneylerle doğrulandı. Elektrozayıf kuram ve kuantum renkdinamikleri bir araya gelerek parçacık fiziğinin günümüzde kabul görmüş hali olan muhterem *standart model*ini oluşturur.

Şimdi elimizde doğanın üç kuvveti var. Dördüncü kuvvet ise kütleçekimi. Görmüş olduğumuz gibi, Einstein genel görelilik kuramında bunu evrendeki büyük ölçekli yapıların mimarı olarak tanımlıyor ve tanımı gereği düşünebildiğimiz en büyük ölçeklerde etkin. Ancak evrenimiz her zaman bu kadar büyük değildi. Görmüş olduğumuz gibi, Büyük Patlama'dan hemen sonra evren sadece küçük değil "kuantum" ölçeğinde küçüktü. Bu uç koşullarda kütleçekimsel etkileşimlerle diğer kuvvetlerin etkileşimini anlamak için kütleçekimin kuantum alan kuramına göre tanımlanması gerekir. Bu nedenle çoğu fizikçi genel göreliliğin ötesinde kütleçekimin kuantum kuramının olması gerektiğine inanmaktadır.

Böylesi bir kuramın inşa çalışmaları, kuramın öngördüğü belirli fiziksel niceliklerin değerlerinin sonsuz büyük bir hal aldığı ve *ıraksama* adı verilen bir durumla lanetlenmiştir. Bunun sorun olmasının nedeni sonsuzluğun matematiğe meydan okuyan bir kavram olmasıdır. Matematiksel bir denklemin sonucu sonsuz çıkıyorsa, bu genellikle bir şeylerin ters gittiğinin habercisidir. Aynı şey fizik için de geçerlidir. Fiziksel niceliklerin çok büyük olması mümkündür, gerçekten de çok büyük olabilirler: Örneğin evrenin gözlenen büyüklüğünü göz önüne alabilirsiniz. Ancak herhangi bir niceliğin sonsuz büyük olması onu ölçülemez hale getirir ki bu da bilimsel olarak incelenemeyeceği anlamına geldiği için ön-

1 Electroweak theory. (ç.n.)

görüsü sonsuzluk olan kuramlar elden çıkarılmaya çalışılır. İşte kuantum kütleçekim modellerindeki ıraksamaların kötü haber olmasının nedeni de budur.

Benzer sonsuzluklar QED gibi diğer alan kuramlarında da baş göstermiştir ancak *yeniden normalleştirme*[1] adı verilen bir süreçle bunların ortadan kaldırılabildiği bulunmuştur. Bu aslında kuramların sonsuzluğa neden olan kısımlarını kesip atan bir savuşturmadan ibarettir. Gerçi telafi edilebilir kalitedeki savuşturmalar doğru sonuçlar verir. Ne var ki fizikçiler hiçbir çabayı esirgememiş olsa da yeniden normalleştirme, kütleçekimini kademelendirme girişimlerinde ortaya çıkan ıraksamaları ortadan kaldırmaya yetmedi.

Bazı fizikçiler ıraksamalara maddenin parçacıklarının sıfır boyutunda noktalar olarak modellenmelerinin neden olup olmadığını merak ettiler, çünkü en ufak bir elektronun bile *biraz* olsun büyüklüğü olmasına rağmen çoğu kuram işi basitleştirmek için parçacıkların nokta gibi davrandığını varsayar ve bu bir sorun oluşturabilir. Sonuçta sıfır boyutlu olmak tüm kütleyi tek bir noktada yoğunlaştıracağı için yoğunluk derhal sonsuz olacaktır. İşte bu da kuantum alanlarına alternatif bir yaklaşım olan ve en temel düzeydeki maddenin nokta benzeri parçacıklardan değil de biraz uzatılmış çizgi benzeri enerji ipliklerinden oluştuğu fikrini öne süren *sicim kuramı*na[2] bir ilgi oluşmasına neden oldu. Farklı parçacıklar, tıpkı bir müzik aletinde çalınan farklı notalar gibi iplikçiklerin farklı titreşimlerine karşılık gelir. Sicim kuramı doğal olarak QED'deki fotona benzer şekilde, kütleçekimsel alanda yük taşıyıcı parçacık olan *graviton*ların varlığını öne sürer. Ama bu iyi haberin hemen hemen sonudur. Sicim kuramı aslında tek bir kuram değil, birçok kuramın bir araya gelmiş halidir. Sicim kuramı-

1 Renormalization. (ç.n.)
2 String theory. (ç.n.)

denklemi arasındaki ilişkileri birleştirerek, maddenin katı parçacıklarının hareketini tanımlayan dalga denklemini üretmeyi başardı.

Schrödinger bu denklemi, bildiğimiz en basit kuantum sistemlerinden biri olan, tek bir elektron ve tek bir protondan oluşan hidrojen atomuna hızlıca uyguladı. Denklem, hidrojen atomunda bulunabilecek kademeli enerji seviyelerini tam olarak açıklıyordu. Astronomların uzak yıldızlardan gelen ışığı tayfına ayrıştırdıklarında, tayf üzerinde belirli renklerde parlak ve karanlık şeritler gördüklerini birinci bölümde konuşmuştuk. Planck, ışığın belirli bir renginin belirli bir dalgaboyu ve frekansa karşılık geldiğini, fotonların belirli enerjilere sahip olduklarını göstererek açıklamıştı. Hidrojen atomundaki elektron, iki seviye arasındaki boşluğa karşılık gelen enerjide bir ışık fotonu soğurarak ya da salarak enerji seviyeleri arasında sırasıyla yukarı ya da aşağı gidebilir. Tayftaki karanlık ve parlak şeritlerin konumları Schrödinger'in denklemine göre sadece belirli enerji seviyelerinin izinli olması nedeniyle ışığın ancak belirli dalga boylarında soğurulabilmesi ya da salınabilmesiyle açıklanır. Daha karmaşık diğer elementler için de bu hesaplama tekrarlandığında, uzak yıldızlardan ve gökadalardan gelen ışıkta gözlenen daha birçok tayf çizgisine karşılık gelen, benzer şekilde izinli enerji düzeylerinin yapısı ortaya çıkar.

Gördüğümüz gibi tayfölçümü, uzayın genişlemesi ve gökadaların uzaklıklarının hesaplanması dahil evrenin doğasına dair çok sayıda şaşırtıcı şeyin açıklığa kavuşmasını sağlamıştır. Tüm bunlar Schrödinger'in denkleminde tanımlandığı gibi, kuantum fiziği sayesinde mümkün olmuştur.

Tek bir problem vardı: Maddenin dalgalı davranışı Schrödinger'in *dalga fonksiyonu*[1] olarak adlandırdığı şeyde özetlenmişti. Dalga fonksiyonunun izinli seviyelerini veren denklemin çözümünden sırayla enerji ve momentum gibi fiziksel nicelikler hesaplanabiliyor-

1 Wave function. (ç.n.)

nı modern parçacık hızlandırıcılarıyla erişilebilen enerjilerde test etmek gerçekten de imkânsız olmasaydı, bu da bir sorun teşkil etmezdi. Bu sorunlar kuramın geçerliliğine ilişkin bazı soru işaretleri uyandırdı ve kütleçekiminin kademeli bir tanımının mevcut olup olmadığını sorgulattı.

Zaten öyle değil ama yine de kuantum alan kuramının temel fizik algımıza etkisini hafife almamak gerek. En basit boş uzay algımızı bile yerinden sarsmıştır ve az sonra göreceğimiz gibi boş uzay belki de en bol kozmik hammadde olduğu için, bunun evrenin nihai kaderinde ve evriminde çarpıcı bir etkisi olduğunu bilmek şaşırtıcı olmasa gerek. Alanlar kavramını kuantum kuramının kalıtsal gelişigüzelliğiyle birleştirdiğinizde ortaya çıkan sonuçlardan biri boş olarak düşündüğümüz uzayın aslında hiç de boş olmadığıdır. Aksine kımıl kımıl kütleleriyle parçacıklar, çok kısa zaman ölçeklerinde belirip yok olurlar. Bunlar *sanal parçacıklar*[1] olarak bilinir. Önceden yaptığımız göl benzetmesine dönecek olursak, sanal parçacıklar gölün asla tamamen durgun olmamasını sağlayan ufak tedirginlikler ve sürekli dalgalanmalardır.

1927 yılında Alman fizikçi Werner Heisenberg'in öne sürdüğü bir ilke, bize bunların oluşumlarını canlandırmak için bir yol sunar. Kararsızlık ilkesi olarak bilinen bu ilke, bir kuantum parçacığının hem konumunu hem de momentumunu (yani parçacığın kütlesi ve hızıyla orantılı olarak artan, "hareket halindeki maddenin" bir tür ölçümünü) aynı anda bilmenin imkânsız olduğunu söyler. Bunlardan hangisini daha büyük bir doğrulukla bilirseniz, diğerinin doğruluğu azalır.

Dalga fonksiyonunun çöküşünün ardından fizikçiler, belirsizlik ilkesinin başlangıçta gözlemcinin parmaklarının müdahalesi yüzünden ortaya çıktığını düşündüler: Parçacığın özelliklerinden biri ölçülürken parçacıkla etkileşime girilmesi gerektiği için duru-

1 Virtual particles. (ç.n.)

mu değişecekti. Ancak artık bu görüşün yanlış olduğu biliniyor. Belirsizlik, kuantum parçacıkları ölçülse de ölçülmese de var olan temel bir özellik.

Daha sonra momentum ve konum arasındaki pazarlığın, enerji ve zaman arasında da geçerli olduğu fark edildi. Aslında bu, boş uzayın vakumundan, kısa bir zaman için enerji ödünç alınabileceği anlamına geliyordu. *E* enerjisinde bir parçacık, *t* zaman sonra yok olmak kaydıyla durup dururken ortaya çıkabilir ve hem *E* hem de *t* belirsizlik ilkesini sağlamaktadır. Diğer bir deyişle, ne kadar çok enerji ödünç alınırsa süre o kadar kısalır, ne kadar az enerji alınırsa sanal parçacık da o kadar uzun bir süre ortalıkta görünmeye devam edebilir. Bu arada, sanal parçacıklar hep madde-antimadde çiftleri halinde oluşur; antimadde, maddenin aksi yükünde olduğu için ayrıca bir yük oluşması veya yok olması söz konusu olmaz.

Sanal parçacıkların varlığı "boş" uzayın aslında boş olmadığı anlamına gelir. Bu durumda *vakum enerjisi*[1] adı verilen boş uzayın enerjisi de haliyle tam sıfır olmaz. Uzay ve evren şimdiye kadar üzerine konuştuğumuz madde ve ışınımdan farklı bir şeyle doludur. Bu, Lamb kayması (bkz. 138. sayfa) ve *perdeleme*[2] olarak bilinen, yüklü parçacıkların zıt yüklü sanal parçacıkları vakumdan çekmesinin ardından, parçacığın yükünün kısmen etkisizleştirilmesiyle oluşan elektriksel yükün bloklanması da dahil olmak üzere birçok laboratuvar deneyinin sonucuyla ortaya çıkmıştır. Perdeleme, elektromanyetik gücün etkin şiddetini sönümler. Sanal parçacıkların varlığına ilişkin bir diğer şaşırtıcı kanıt ise *Casimir etkisi*[3] olarak bilinir: Aralarında kısa mesafe olan iki metal plakanın birbirlerini çeken küçük bir kuvvete maruz kaldıkları görülmüştür. Casimir etkisinin detaylarını gelecek bölümde konuşacağız.

1 Vacuum energy. (ç.n.)
2 Screening. (ç.n.)
3 Casimir effect. (ç.n.)

Aslında gerçek gariplik, vakum enerjisinin neden sıfır olmadığından ziyade, neden bu kadar küçük gözlendiğidir. Yedinci bölümde biraz daha detaya girince göreceğimiz gibi, kuantum alan kuramı evrenin vakum enerjisinin 10'un 120. kuvveti kadar büyük bir sayı (1'in ardında 120 tane sıfır var: Devasa bir sayı!) olmasını öngörür, yani gözlediğimizden gerçekten de katbekat büyük. Hikâyemizde bunun önemli bir yeri var çünkü vakum enerjisinin gerçekten de kozmolojiyle çok ilgili olduğu ortaya çıkıyor. Einstein'ın evreni durağan kılmak için genel görelilikteki ilk denklemine (evrenin genişlemesi henüz keşfedilmemişken - bkz. üçüncü bölüm) eklediği terim olan kozmolojik sabitle sıkı bir ilişki içinde. Vakum enerjisi, evren oluştuktan sonraki ilk anlarda, kısa ama aşırı hızlı gerçeklemiş bir genişleme evresinden kaynaklanıyor olabilir. *Enflasyon*[1] adı verilen bu sürecin, Büyük Patlama modelinde süregelen bir dizi sorunun çözümü olduğuna inanılıyor (dahası için bkz. sekizinci bölüm) ve evrendeki gökadalar ile büyük ölçekli yapıların tohumlarını ekmiş olduğu düşünülen asıl şüpheli de bu süreç.

Vakum enerjisinin evrenin bugünkü davranışında kayda değer ölçüde etkisi olduğuna dair şaşırtıcı kanıtlar da mevcut ve bizim de şimdi görmek üzere olduğumuz gibi evrenin nihai kaderinin tanımlanmasında son sözü o söylüyor olabilir.

1 Inflation. (ç.n.)

YEDİNCİ BÖLÜM

Karanlığa Doğru

"Dr. Saul Perlmutter'a baksana, Nobel ödülünü nasıl da sıkı sıkı tutmuş. Ne oldu Saul, biri çalar diye mi korkuyorsun? Hani senin Einstein'ın kozmoloji sabitini çaldığın gibi."

SHELDON COOPER

"Lambda CDM en iyisi."

Bu kelimeler neredeyse yirmi beş yıldır aklımda. 1990'ların ortalarında, Sussex Üniversitesi'nde kozmoloji doktorası için çalışan bir araştırma öğrencisi olduğum zamanlar bir meslektaşım söylemişti. Diğer bir araştırma öğrencisiyle birlikte, evrenlerin başka tür bir maddeyle dolu olduğu Büyük Patlama'nın evrimini taklit eden bilgisayar kodları yazıyorlardı. CDM, beşinci bölümde gördüğümüz gibi "soğuk karanlık madde" anlamına geliyor. Hem bunu, hem sıcak karanlık maddeyi (HDM), hem de bu ikisinin ılık bir karışımı gibi olan karışık karanlık maddeyi[1] ele almışlardı. Sonra hangi modelin eldeki kanıtlara en iyi şekilde uyum gösterdiğini bulmak için, bugün uzayda dağılmış olan gökada kümelerinin ve mikrodalga arka plan yapısının gözlemleri gibi gerçek evrene ait astronomik gözlemlerle elde ettikleri sonuçları kıyasladılar.

Karanlık madde gibi, Hubble ve Humason henüz evrenin ger-

1 Mixed Dark Matter (MDM). (ç.n.)

çekten de genişlediğini bulmamışken, Einstein'ın evreni durağan kılmak için genel görelilik denklemlerine eklediği terim olarak hatırlayabileceğiniz kozmolojik sabiti içeren evrenler de denediler. Einstein, hesaplarındaki bu sabiti Yunan harfi Lambda (λ) ile göstermişti. Yani Lambda-CDM, hem evrenin soğuk karanlık maddeyle dolu olduğunu, hem de kozmolojik sabiti temsil ediyordu. Bu model, meslektaşlarımın denediği tüm olasılıklar arasında en makul olanıydı.

Bu çalışma, 1980'lerde ortaya çıkmaya başlayan saf CDM kozmolojisindeki sorunlardan esinlenmişti. Evrendeki gökada kümeleri ve kümelerin kümeleri olan süperkümeler gibi büyük ölçekli yapıların gözlemleri, evrendeki parlak görünür maddenin büyük ölçeklerde sadece CDM tarafından yönlendirilen evren modeliyle açıklanabileceğinden daha topaklı bir halde olduğunu göstermişti. Diğer bir deyişle bu kuram eldeki en iyi gözlemlerle ters düştüğü için muhtemelen yanlıştı.

Ama ortada daha korkutucu bir tutarsızlık vardı. Uzayın ne tür bir maddeyle dolu olduğunu bilirseniz, bir gökadanın uzaklığıyla çarpıldığında bizden uzaklaşma hızını veren ve Hubble'ın denkleminde H ile gösterdiği sayı olan Hubble sabiti sayesinde evrenin yaşını bulabilirsiniz. Üçüncü bölümde gördüğümüz gibi vakum evrenin (yani kütleçekimsiz boş evrenin) yaşı, evrenin boyunun sıfır olduğu andan gökadaların bugünkü ayrıklıklarıyla gözlendiği boya erişmesi için geçen zamandır. Buna eğer kütleçekimi eklerseniz, evrenin yaşının azalması gerekir. Çünkü kütleçekimin çekici kuvveti evrenin genişlemesini yavaşlatır. Bugün gözlediğimiz oranda genişleme olması için evren geçmişte daha hızlı genişliyor olmalıydı ki bu da evrenin bugünkü haline daha da kısa bir zamanda varmış olduğu anlamına gelir. Sorun şu ki Hubble sabiti için en uygun değerler, saf CDM içeren bir modelle birleştiğinde evrenin yaşını 8,2 milyar yıl olarak veriyor ancak bu değer Samanyolu'nun yaşından da küçük; üstelik gökadamızın

1990'ların başlarında 9 ile 9,5 milyar yıl arasında olduğu tahmin edilen yaşı bugün elde ettiğimiz en iyi tahminlere göre 13,7 milyar yıl civarında.

Kozmolojik sabit büyük ölçekli evrenin genişlemesini hızlandıran bir itici güç olduğundan Lambda-CDM bu problemi çözüyor. Bu *kütleitimi*[1] etkisi, Einstein'ın genel göreliliğin ilk halinde evrenin büyüklüğünü sabit tutabilmek için kütleçekimin sıradan maddeyi çekmesine karşı kullandığı sabite benzer. Eğer uzayın genişlemesi hızlanıyorsa bugünkü gözlenen genişleme oranına erişebilmek için geçmişte daha yavaş genişliyor olması gerekir ve bu da evrenin bugünkü boyutlarına gelmesi için daha çok zaman gerektireceğinden, doğal olarak daha yaşlı olduğu anlamına gelir.

1995 yılında ABD'li kozmologlar Lawrence Krauss ve Michael Turner tarafından fark edilen bu durum "Kozmolojik Sabit Geri Döndü"[2] başlıklı bir araştırma makalesinde yayımlandı. Evrenimiz için en olası reçetenin düz (yani sıfır eğrilikte veya kritik yoğunlukta) ve kritik yoğunluğun %30 ile %40 kadarını karanlık maddenin, %60 ile %70 kadarını da kozmolojik sabitin oluşturduğu Lambda-CDM modeli olduğu sonucuna vardılar (bkz. üçüncü bölüm).

Saf CDM kozmolojik modelleri ile gerçek evrenin ölçümleri arasındaki uyumsuzluk, astronomları gerçekten uzayın genişleme hızının zamanla nasıl değiştiğini açığa çıkaracak daha belirleyici gözlemler planlamaya teşvik etti. Bu, teorik tayfaya evren yığınının gerçekten neden yapılmış olduğuna dair en büyük ipucunu verecekti. Genişlemenin yavaşladığı, karanlık maddenin baskın

1 Antigravity. İngilizcedeki olumsuzluk/yokluk bildiren "anti" öneki Türkçedeki "-siz/sız" sonekiyle karıştırılıp kütleçekimsizlik olarak düşünülürse, kelimenin anlamı kütleçekimin yoksunluğunu belirtse bile söylenmek istenen kütleitimi hakkında bir bilgi vermediği için doğru olmayacaktır. O nedenle kütleçekimin karşıtı olarak kütleçekimsizlik değil kütleitimi denmiştir. (ç.n.)

2 The Cosmological Constant is Back. (ç.n.)

geldiği ve kütleçekimin çekici rol oynadığı bir evrende mi yaşıyorduk? Ya da Krauss ve Turner'ın öne sürdüğü gibi genişleme hızlanıyor, kütleçekim itici bir rol oynuyor ve evrendeki kütle ve enerji dengesine baskın katkıyı kozmolojik sabit mi yapıyordu?

Astronomlardan oluşan iki grup, sorunun cevabını bulmaya karar verdi: Berkeley, California Üniversitesi'nden Adam Riess ve Canberra'da Avustralya Ulusal Üniversitesi'nden Brian Schmidt önderliğindeki Yüksek-Z Süpernova Arama Ekibi ve California'da Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'ndan Saul Perlmutter'in önderliğindeki Süpernova Kozmoloji Projesi. Her iki grup da kabaca aynı yöntemi kullanıyordu. Sırrı isminde saklı: Süpernovaları inceleyerek kozmik genişlemeyi ölçeceklerdi.

Daha önce anlattığımız gibi, süpernovalar yüksek kütleli yıldızların ölümünün işaretçisi olan muazzam patlamalardır. Bulundukları gökadadaki tüm yıldızların ışığını gölgede bırakacak kadar parlak oluşları, milyarlarca ışık yılı öteden görülebilir kaynaklara ihtiyaç duyan kozmoloji için biçilmiş kaftandır.

Yıldızın kütlesi, kimyasal yapısı, tek bir yıldız mı yoksa birbiri etrafında dönen iki yıldızdan oluşan bir çift sistemin üyesi mi gibi detaylara göre süpernovalar çeşitli şekillerde ve büyüklüklerde meydana gelirler. Ve her seferinde patlamada etkin olan mekanizma farklıdır. Kozmologlar özellikle Tip Ia olarak bilinen özel bir türle ilgileniyordu. Bu tür, bileşenlerinden biri beyaz cüce diye bilinen küçük ve yoğun bir yıldız olan çift yıldız sistemlerinde gözlenir. Beyaz cüceler Güneş'imize benzer bir yıldızın yaşamının ilerleyen zamanlarında dış katmanlarını uzaya saçtıktan sonra çekirdeğinden geriye kalan karbon ve oksijenden oluşan cisimlerdir. O kadar yoğunlardır ki, Güneş kütlesinin Dünya büyüklüğünde bir küreye sığdırıldığını düşünebilirsiniz. Kütleçekimleri de bu nedenle çok yüksektir ve bir çift sistemin üyesi olduklarında yoldaş yıldızdan malzeme koparabilirler. Bu madde genellikle beyaz cücenin yüzeyinde birikerek yıldızın sıkışmasını ve sıcaklığın içeride

çekirdek kaynaşma tepkimelerini ateşlemeye neden olacak kadar artmasını sağlar. Nihayetinde beyaz cüce patlayarak paramparça olur ve yoldaş yıldızının da uzaya savrulmasına neden olur.

Tip Ia türü süpernovaların özel olmasının nedeni süpernovanın ateştopu süresinin (ateştopunun gerçekte olduğundan daha uzun süre gözlenmesine neden olan ve evrenin genişlemesiyle ortaya çıkan zaman genişlemesi düzeltildikten sonra - bkz. ikinci bölüm) içsel parlaklığı ile ilişkisinin formüle edilmiş olmasıdır. Bu da, Dünya'dan görünür parlaklığının ölçülmesi sayesinde, aradaki mesafe nedeniyle ışıklarının ne kadar sönükleştiğinin ve böylelikle de bunlara ev sahipliği yapan gökadaların gerçekte ne kadar uzakta olduğunun bulunması demektir. Bu bakımdan Tip Ia türü süpernovalar, Edwin Hubble'ın uzak gökadaların mesafelerini ilk kez tespit etmek için kullandığı Sefeid değişen yıldızları gibi, "standart kandiller"e bir örnek teşkil ederler. Ancak Tip Ia türü bir süpernova, 5 milyar Güneş'e denk bir parlaklıkta parlayabildiği için evrenin diğer ucundan bile görülebilen kozmik bir fener gibidir. Kayıtlarımıza göre en uzak süpernova 2013 yılında Dünya yörüngesindeki Hubble Uzay Teleskobu tarafından tespit edildi ve Dünya'dan 10,5 milyar ışık yılı uzaklıkta bulunuyor.

İşte evrenin genişleme geçmişinin çetelesini tutmak isteyen astronomlar için süpernovaların böylesi inanılmaz bir fırsat olmasının nedeni bu. Işık hızının sonlu olması, uzaktaki gökadaların geçmiş zamandaki halleri gibi göründükleri anlamına gelir. Dünya'dan milyarlarca ışık yılı ötedeki bir gökadayı incelemek, astronomlara evrenin milyarlarca yıl önce nasıl olduğunu görme şansı verir. Eğer ekipler, Tip Ia türü süpernovalara ev sahipliği yapan gökadaların uzaklaşma hızlarını da ölçebilselerdi (üçüncü bölümde gördüğümüz gibi, ışığın tayfındaki belirli parlak ve karanlık şeritlerin kozmik genişleme nedeniyle uzun dalga boylarına doğru yer değiştirme miktarı olan kırmızıya kaymaları ölçülerek bu çıkarım yapılabilir) genişleme oranının kozmik geçmişte za-

manla nasıl değiştiğinin resmini oluşturabilirlerdi.

Kuramsal çalışmalar kozmolojik sabitin varlığına dair kuvvetli ipuçları sunmasına rağmen, bu iki süpernova ekibinin ellerinde sonuçlarla ortaya çıkmasına kimsenin tamamen hazırlıklı olduğundan emin değilim. 1998'den 1999'a varan bir süre boyunca yayımladıkları makalelerle evrenin genişlemesinin hızlandığını ve ikinci yarısında ilk yarısına göre daha fazla genişlemiş olduğunu şüpheye yer bırakmayacak bir şekilde gösterdiler. Veriler, tam da Krauss ve Turner'ın öne sürdüğü gibi kritik yoğunlukla ya da kabaca %30'u CDM ve %70'i kozmolojik sabitten oluşan düz evrenle uyumluydu.

Şüpheciler bu durumun nedeninin, süpernovayla aramızda bulunması olası bir toz bulutunun, süpernovanın parlaklığını sönükleştirmiş olabileceğini, bu nedenle de gerçekte olduğundan daha uzakta ve buna bağlı olarak da daha önce gerçekleştiğini düşünme hatasına düşmüş olma ihtimalimiz üzerine tartıştılar. Toz kaynaklı görüş engelinin düzeltilmesiyle bu gökadaların Dünya'ya uzaklıklarının azalacağını ve böylelikle gözlenen hızların da genişlemesinin, yavaşlayan standart evrenle daha uyumlu olacağını iddia ettiler.

Ancak iki süpernova ekibinin sonuçları kısa bir süre içinde bir araya getirildiğinde muhaliflerin sesi kesildi. 2000 yılındaki Boomerang ve Maxima adlı iki uluslararası balon deneyi, kozmik arka plan ışınımını inceleyerek CMB'nin açısal güç spektrumundaki (bkz. beşinci bölüm) ana pike dair ilk kanıtları ortaya koydu ve bu pikin yapısı da evrenin neredeyse düz olduğunu onaylamış oldu. 2001 yılında da 2dF Gökada Kırmızıya Kayma Taraması[1] sonuçları yayımlandı. Bu, evrenin büyük ölçekli yapılarını 4 milyar ışık yılına kadar kapsayan, New South Wales'de bulunan Siding Spring Gözlemevi'ndeki Anglo-Australian Telescope (AAT)

1 2dF Galaxy Redshift Survey (2dFGRS). (ç.n.)

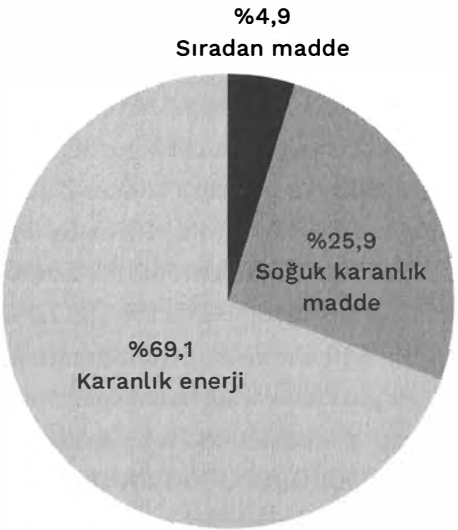
ile elde edilen verilere dayanan 5 yıllık bir taramaydı. "2dF" adı "2-derecelik alan"[1] anlamındaydı ve teleskopla elde edilen görüntülerin her birinin açısal büyüklüğüne karşılık geliyordu. Gökyüzünde 1500 derece karelik bir alanda (gökyüzünün %4'ünden az) 380.000'den fazla uzak gökada incelendi. 2dFGRS evrenin kritik yoğunluğunun %30 kadarının maddeden (görünür ve karanlık) oluştuğunu buldu. Bu bilgi CMB bulgularıyla birleştirildiğinde evrenin düz olduğu ve geri kalan %70'in de "başka bir şey" olduğu anlamına geliyordu.

Kozmolojik sabit, boşluğu doldurabilecek tek gerçekçi kanıttı. 2006 yılında NASA'nın Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Sondası[2] verileri geldiğinde kayıp %70'lik kısmın gerçekten de kozmolojik sabit olduğu onaylanmış oldu. Evrenin erken zamanları için yapılan bilgisayar simülasyonlarında değişkenlerin azar azar değiştirilmesiyle elde edilen görüntülerin WMAP ile elde edilen süper net görüntülerle kıyaslanması sayesinde en uyumlu sonuç bulunmuştu.

2015 yılında ESA'nın Planck uzay aracından elde edilen veriler bu sayıları daha da iyileştirdi. Şimdi mevcut en iyi tahminler, evrenin yoğunluğunun %4,9'unu sıradan maddenin, %25,9'unu CDM'nin ve %69,1'ini de kozmolojik sabitin oluşturduğunu gösteriyor. Bunların toplamı kritik yoğunluğun %99,9'unu oluşturuyor, yani evren neredeyse düz. Bu değerlere göre Lambda-CDM kozmolojisinin geçerli olduğu evrenin yaşı en iyi tahminle 13,8 milyar yıl, yani içerdiği her şeyin bilinen yaşıyla tam bir uyum içinde.

Evrenin genişlemesinin gerçekten de ivmeli olduğunun keşfi, yirminci yüzyılın en çığır açıcı bilimsel buluşlarından biri. Tam da buna yaraşır bir şekilde Perlmutter, Riess ve Schmidt'e 2011 yılında fizik dalında Nobel ödülünü kazandırdı. Neredeyse yüzyıl önce

1 2-degree field. (ç.n.)
2 Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). (ç.n.)



2015 yılında ESA'nın Planck uzay aracından alınan verilerin analizleri, evrenin kritik yoğunluğunun %69,1'inin karanlık enerji olduğunu ortaya koydu.

böylesi bir evren modelini önce önerip sonra geri çeken Albert Einstein ise bariz bir şekilde suskunluğunu koruyordu.

Einstein'ın kozmolojik sabitinin bu cüretkâr dirilişi daha cesur bir ismi hak ediyordu. Kozmolojik sabitin geri dönüşünü öngören makalenin yazarlarından biri olan Michael Turner'ın buna artık "karanlık enerji" demesi kaçınılmazdı. Bu, bir yandan Einstein'ın Lambda'sının aslında madde değil uzaya sinmiş bir enerji alanı olduğu gerçeğini kabul ederken bir yandan da karanlık maddenin bir onayıydı.

Karanlık maddenin kütleçekim gücüne kuvvetli tepki veren katı parçacıklardan oluştuğu ve böylece gökadalar ve diğer kütle yoğunlukları etrafında kümelendiği düşünülmesine rağmen, karanlık enerji çok farklı bir davranış gösterir: Uzayda homojen dağılır ve hem gökadalarda hem de gökadalar arasındaki dev boşlukta aynı yoğunluktadır.

Eğer karanlık enerji, Einstein'ın kozmolojik sabitiyle aynı şeyse, o zaman muhtemelen vakum enerjisinden oluşuyor olmalı. Bu, boş uzayın yapısına kilitlenmiş bir enerji demektir. Geçen bölümde kuantum kuramına bakarken gördüğümüz gibi, vakum enerjisi sanal parçacıkların çok kısa zaman ölçeklerinde belirip kaybolmasına izin verildiği için ortaya çıkıyor. Maddenin böyle sürekli gelip gitmesi boş uzayın enerjisini yükseltiyor ve vakum enerjisini sıfırın üstüne çekiyor. Bu da evrenin kütlesini değiştirerek nihai kaderini belirliyor. Tabii ki vakum enerjisinin yoğunluğu çok küçük. Eğer gözlemler doğruysa yoğunluk yaklaşık olarak metre küp başına bir gramın 10'un 27. kuvvetine bölümüne denk (yani 0,000000000000000000000000001) ve bu da tek bir hidrojen atomunun kütlesinden biraz daha az bir değere karşılık geliyor. Ancak bu evrenin her metre küpü için geçerli olduğundan, toplam karanlık enerji diğer her şeyin kütlesine baskın geliyor.

Evren genişledikçe karanlık enerjinin davranışı tuhaflaşır. Genişleyen bir uzay küpünün evrenimizdeki bir yığını temsil ettiğini düşünelim. Eğer küp maddeyle doluysa evren genişledikçe madde yoğunluğu azalır ve küp büyür. Bunun nedeni yoğunluğun kütlenin hacme bölümü olmasıdır. Eğer kütle sabit kalırken hacim artarsa yoğunluk azalır.

Eğer küp madde yerine ışınımla doluysa evren genişledikçe yoğunluk daha da azalır. Önceki gibi, küpün hacmi artar ancak buna ek olarak genişlemeyle birlikte ışınım da uzar ve kırmızıya kayar (birinci bölümde bu etkiyle karşılaşmıştık).

Ama burada işler tuhaflaşıyor. Kutu içindeki vakum enerjisi kutu büyüdükçe sabit kalıyor. Bunun nedeni vakum enerjisinin vakumun kendisi tarafından üretilmesi. Yani daha çok vakum olursa vakum enerjisi de artacaktır. Bu durum evren genişlemesine rağmen vakum enerjisinin sabit kalmasını sağlar ve bu yüzden vakum enerjisi genellikle kozmolojik sabitle tanımlanır (daha önce özetlediğimiz gibi bu sabit enerji yoğunluğuna karşılık gelen bir terimdir).

Vakum dalgalanmaları evrenin genişlemesinin hızlanmasına neden olur çünkü bu dalgalanmaların ürettiği karanlık enerji aslında negatif basınç içerir. Ve tüm bu negatif basınçlı malzemenin kütleçekiminin uzayda garip bir etkisi vardır. Newton'ın kütleçekim kuramında kütleçekimsel alan yaratabilen tek şey kütle olduğu için ve kütle her zaman pozitif olduğu için -ya da ne azından Newton'ın zamanında öyleydi- kütleçekimsel kuvvet her zaman çekiciydi. Ama genel görelilikte kütle, enerji ve basıncın hepsi de geçerli kütleçekim kaynaklarıdır. Sizin de tahmin edebileceğiniz gibi, negatif basınçlı maddenin ürettiği kütleçekimsel kuvvetin kendisi de negatiftir, yani negatif basınç kütleitimi oluşturur.

Negatif basınç, gerçekten de en az kulağa geldiği kadar tuhaf. Bir araba ya da bisikletin lastiklerini pompaladığınızda içerideki havanın basıncı pozitiftir ve tekerin lastik duvarlarını iterek şişmesini sağlar. Ancak tekeri negatif basınçlı bir malzemeyle şişirmeye çalıştığınızda, bu garip şeyden ne kadar eklerseniz tekerin o kadar söndüğünü görürsünüz.

Henüz karanlık enerji keşfedilmemişken bile bilim insanları vakum dalgalanmalarının negatif basınç yaratabileceğine dair kanıta sahipti. 1948'de Hollandalı fizikçi Hendrik Casimir vakum ortamında birbirine çok yakın yerleştirilmiş iki metal levhanın aralarındaki negatif basınç etkisiyle birbirlerine doğru çekildiklerini ispatladı. Levhaların birbirlerine çekilmeleri aralarındaki basıncın etraflarındaki basınçtan az olduğu anlamına geliyordu ancak dış basıncın sıfır olarak tanımlandığı vakum ortamında bulundukları gerçeği göz önünde bulundurulduğunda levhalar arasındaki basınç negatif olmak zorundadır.

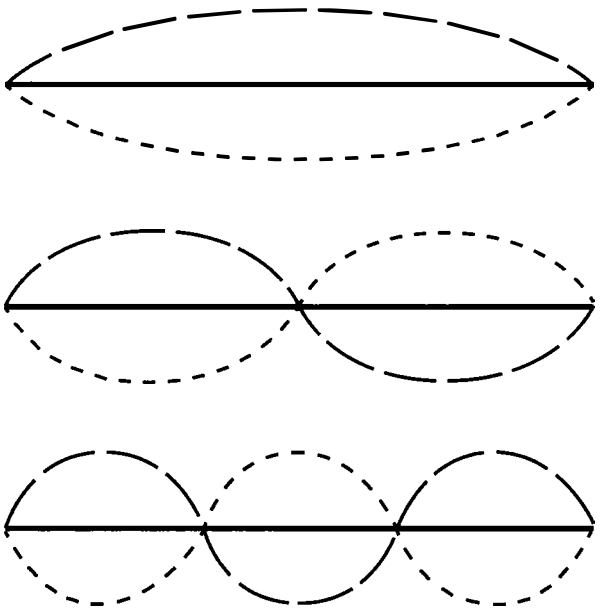
Levhalar arasında gerçekleşmesi mümkün olan kuantum dalgalanmaları, levhaların etrafına göre çok daha az olduğu için *Casimir etkisi* negatif basınç oluşturur. Kuantum fiziğinin temel dayanağı olan dalga-parçacık ikiliğine göre parçacıkların aynı zamanda dalga olarak da düşünülebileceği (ve tam tersi), bilim

insanlarının ışık ışınlarının katı cisim gibi davranarak başka parçacıklara "çarptığını" ve elektronların ışık demeti gibi davranarak "yayıldığını" gösterdikleri sayısız deneyle kanıtlanmıştır (bkz. altıncı bölüm).

Süreç şöyle işler: Levhaların dışında mümkün olan tüm dalga boylarının vakum dalgalanmaları mevcut olabilir ama levhalar arasında ancak belirli bir dalga boyu aralığında dalgalar barınabilir. İki ucu sabitlenmiş bir ip üzerinde titreşen dalgalar düşünün. Sadece uç noktaların sabit kalmasına imkân veren dalga boyundaki dalgalara izin vardır. Aynı durum Casimir levhaları arasında bulunabilecek olası kuantum dalga biçimi sayısını da kısıtlar. Bu dalgaların aynı şekilde sanal parçacıklar olarak da düşünülebileceğini hatırlarsanız, levhaların içinde tepinen parçacık sayısı dışındakilerden çok daha az olmalıdır ve bu da levhalar arasındaki basıncın dışarıdaki sıfır basınçlı vakumdan daha düşük olması gerektiği anlamına gelir, yani basınç negatif olmak zorundadır. Casimir'in deneyi sadece çok küçük miktarlarda negatif basınçlı malzeme üretse de vakum dalgalanmalarının gerçekten de bir şeyler oluşturabileceğini göstermiştir.

Yine de karanlık enerjinin evrenimizin nihai kaderini belirleyen yoğunluğuna yaptığı katkının tam olarak ne olduğuna dair büyük bir soru işareti hâlâ havada asılı duruyor. Artık varlığını bildiğimize ve kimse de artık bundan şüphe duymadığına göre büyük sır şu: Neden devasa büyüklükte değil? Büyüklüğünü bulmaya çalışan kuantum kuramının tüm bulabildiği bu. Kozmolojik sabitin değerini vakum dalgalanmalarının fiziğine uygulayarak bulmaya çalışan ilk kişi keskin zekâlı Rus astrofizikçi Yakov Borisovich Zel'dovich idi. 1960'ların sonlarında Zel'dovich evrendeki karanlık enerjinin gözlediğimizin 120 hane[1] katı kadar daha fazla olması gerektiğini hesapladı. En iyimser hesaplamalar bile bugün

1 1'in yanında 120 adet 0 mevcut: 10^{120} (ç.n.)



İki ucu sabitlenmiş bir ip üzerindeki dalgalar, ancak ipin uzunluğu, dalga boylarının yarısının tam katı ise var olabilir. En üstteki örnekte yarım dalga boyu, ortadakinde bir tam dalga boyu, en alttakinde de ipin boyu dalga boyunun 1,5 katına denk.

hâlâ karanlık enerjinin 50 ile 60 haneli[1] bir miktarda olduğunu (milyar kere milyar kere milyar kere milyar kere milyar kere milyar) öngörüyor. Bu devasa bir uyumsuzluk.

Bu o kadar şaşırtıcı bir bilinmezlik ki *kozmolojik sabit problemi*[2] adını almıştır ve Nobel ödüllü fizikçi Steven Weinberg'ün bile bir keresinde "boğazımıza takılan kılçık" diye bahsettiği söylenir. Bu, fizikçilerin *ince ayar sorunu* diye tabir ettiği, bir kuramda değişkenin nedeni bilinmeksizin çok spesifik bir değer aldığı durumlar için harika bir örnek. Kuantum kuramındaki bir şeyin ince aya-

1 10^{50-60} (ç.n.)
2 Cosmological constant problem. (ç.n.)

ra ihtiyacı var ve bunun sonucunda da, tıpkı bir kantarın her iki yanındaki eşit ağırlıklarla dengeye gelmesi gibi, vakum dalgalanmalarında hapsedilen enerjiler toplamda tam tamına sıfıra eşitleniyor gibi bir şey diyebilsek, çok daha kolay ve gerçekleşmesi mümkün olurdu. Ama bunun yerine, vakum enerjisine katkıda bulunan çeşitli şeyler birbirlerini neredeyse sıfırlasa da, kendimizi 121. hanede hâlâ ufak bir parça da olsa vakum enerjisinin kaldığı çok uygunsuz bir konumda buluyoruz.

Bazı fizikçiler gerçekten de bunun çözümünün evrenin hem çok küçük hem de çok yoğun olduğu Büyük Patlama'nın kalbinde yer alması gerektiğini ve bu nedenle de tanımında hem kütleçekim hem de kuantum kuvvetlerinin bir arada yer alması gerektiği için özellikle kandırmacalı bir problem olduğunu iddia etti. Ancak o zaman evren çok küçüktü, vakum dalgalanmalarının üretebildiği mevcut uzay miktarı ve bu dalgalanmaların evrenin kütle ve enerjisine katkısı da yok sayılabilecek kadar küçüktü.

Olasılıklardan biri, vakum dalgalanmalarının hepsinin birbirini tamamen sıfırladığı ve karanlık enerjinin benzer şekilde davranan başka bir şey tarafından üretildiğiydi. Bir sonraki bölümde enflasyon hakkında daha çok şey öğreneceğiz. Brezilya'nın ekonomisiyle hiçbir ilgisi olmayan bu olgunun, uzayın aşırı hızlı bir genişleme evresinden geçmesine neden olacak şekilde, maddenin davranışının vakum enerjisinin davranışını taklit ettiği, evrenin çok erken zamanlarında meydana gelmiş olduğu düşünülmekte. Kozmologlar enflasyonun daha seyreltilmiş bir halinin bugünkü evrendeki karanlık enerjinin neden olduğu daha sakin genişlemeyi açıklayıp açıklayamayacağını merak etmişlerdir.

Bu açıdan bakınca karanlık enerji sabit olmak yerine evren genişledikçe dinamik bir şekilde evrilmeliydi. Kozmolog Robert Caldwell, Rahul Dave ve Paul Steinhardt, antik Yunan filozoflarının inancına göre evreni oluşturan maddelerin beşincisine atıfta bulunarak, bunun gibi madde alanıyla güdülen modelleri tanımla-

mak için *beşinci öz*[1] adlı bir terim üretmişlerdi.

Yakın zamanda belirli bir tür beşinci öze dair olası bir kanıt, ölçülen ve hesaplanan Hubble sabiti değerleri arasında bir tür uyumsuzluk şeklinde baş gösterdi. Hubble sabitinin bugünkü değeri (hatırlarsanız adı "sabit" olmasına rağmen zamanla değişimine izin verilmişti) ilk olarak Hubble ve Humason'ın da yapmış olduğu gibi görece yakın gökadalardaki standart kandiller vasıtasıyla ölçülebilir. Süpernova kozmoloji gruplarının da ispatladığı gibi daha uzak gökadalardaki standart kandiller vasıtasıyla milyarlarca yıl önceki Hubble sabiti değerini bulabiliriz. Ancak daha da geçmişe bakmanın bir yolu var. Planck sondasıyla elde edilen kozmik mikrodalga arka plan yapısına dair ölçümler, kozmologların Büyük Patlama'dan sadece 380.000 yıl önce, CMB'nin ortaya çıktığı evrenin ilk zamanlarındaki H değerini elde etmelerini mümkün kıldı. Sorun, evrenin bu antik resmini Lambda-CDM kozmolojik modelini kullanarak zamanda ileriye doğru geliştirdikleri zaman ortaya çıkıyor. H'nin bugünkü değerini gözlemsel olarak elde ettiğimizden ciddi ölçüde küçük buluyorlar.

Sadece evrenin genişlemesinin hızlandığı değil, hızlanmanın da hızlandığı, yani kozmik hızlanmanın zamanla arttığı beşinci öz benzeri bir model buna çözüm olabilir. Karanlık enerjinin egzotik bir türü olan *hayalet enerjinin*[2] evrenin ilk zamanları ile bugün arasında ortaya çıkardığı bu fazladan hızlanma CMB'den türetilen H değerini gökada gözlemlerinden elde edilen değeri yakalayacak şekilde artırabilir.

Kesin şeklinin ne olduğundan bağımsız bir şekilde, karanlık enerji evrenin yoğunluğunda her zaman baskın çıkmakta. Daha önce gördük ki hem madde hem de ışınım yoğunluklarının her ikisi de kâinat genişledikçe seyrelirken, karanlık enerji gücünü

1 Quintessence. (ç.n.)
2 Phantom energy. (ç.n.)

kuantum parçacıklarının boş uzayda var olup kaybolmasıyla üretilen enerji olan kuantum vakumdan alıyorsa (ki bunun çok da imkânsız olmadığını biliyoruz) yoğunluğu kesinlikle sabit kalmalı ve böylelikle nihayetinde her zaman sözü geçen o olmalı. Bugünkü tahminler karanlık enerjinin yaklaşık 5 milyar yıl önce evrenin yoğunluğundaki ana faktör haline geldiğini, madde ve ışınımın kütleçekiminin çekici etkisi nedeniyle yavaşlayan genişlemeyi aniden tersine çevirip hızlandırdığını söylüyor.

Karanlık enerjinin er ya da geç kozmik genişlemeyi kontrol altına aldığı göz önünde tutulduğunda, ona ev sahipliği rolünü üstlenen bir evren sonsuza dek genişleyecektir (on üçüncü bölümde bunun evrenin ölümü üzerindeki tüm sonuçlarını keşfedeceğiz). Ancak karanlık enerjinin süper hızla ivmelenen hayalet enerji şeklinde olduğu durumda, evreni vahşi ve mutsuz bir kader bekliyor demektir.

Her ne kadar bu çözülmesi gereken bir vaka olarak kalmış olsa da karanlık enerjinin doğasını daha iyi anlamak için planlanan birkaç proje mevcut (bkz. on dördüncü bölüm). Bu projeler kütleçekimsel mercekleme (bkz. beşinci bölüm) ve süpernova ölçümlerini de içeren bir dizi farklı yöntemden faydalanmakta ve *baryon akustik salınımları*[1] olarak bilinen konuyu incelemekte.

Bu salınımlar, mikrodalga arka plan ışınımının oluştuğu zaman uzayı sarmalamış ilkel plazmadaki ses dalgalarıdır. Gökadaların dağılımında belirli bir uzunluk ölçeği yaratmışlardır. Beşinci bölümde CMB'deki açısal güç spektrumuna bakmıştık; spektrumdaki ilk ve en büyük pik bu ses dalgaları tarafından oluşturulmuştu ve CMB'nin gökyüzünde 1 dereceden biraz az bir alana denk gelen sıcaklık dalgalanmalarına karşılık gelmekteydi. Bu ölçek günümüzdeki evren için 490 milyon ışık yılı civarında bir uzaklığa karşılık gelir. Daha sonra gökadaları oluşturacak madde-

1 Baryon acoustic oscillations. (ç.n.)

nin yoğunluğundaki ufak tedirginliklerin izleri olan CMB sıcaklık dalgalanmalarını dokuzuncu bölümde göreceğiz. Yani gökadaların ayrıklıklarının nasıl dağıldığına baktığımızda, 490 milyon ışık yılı civarında büyük bir zirve yapmış olmasını bekleriz. Diğer bir deyişle herhangi bir gökadayı ele aldığınızda bulacağınız diğer gökadanın ondan 490 milyon ışık yılı uzaklıkta olması, başka bir uzaklıkta bir gökada bulmanızdan daha olasıdır.

Bu demek oluyor ki bizden uzaklığını bilmediğimiz bir tomar gökadanın birbirleriyle uzaklıklarını göz önüne alarak uzaklık pik ayrıklıklarının görünür boyutuna bakıp, bunu 490 milyon ışık yılına eşitleyerek gerçek uzaklıklarını bulabiliriz. Tıpkı kozmolojik uzaklıkları çıkarabilmek için sabit parlaklıktaki süpernovaları standart kandiller olarak kullandığımız gibi böylesi bir sabit uzaklık ölçeği de "standart cetvel" oluşturabilir: Dünya'dan bakınca görünür büyüklüğünü bildikten sonra bu cetvelin gerçekte ne kadar uzak olduğunu bize geometri söyleyecektir (sonraki sayfada bulunan görsele bakınız). Süpernovalardan oluşan standart kandillerden tamamen bağımsız bir şekilde kozmik uzaklığın ölçümü için yeni bir ölçüm sunacak olan bu yöntem, kozmik hızlanmanın tamamen bağımsız bir şekilde belirlenmesini sağlayacak ve umuyoruz ki evrenin karanlık enerji içeriğine dair yeni öngörüler sağlayacaktır.

Karanlık enerji kozmolojide anlamadığımız birçok şeyin merkezindedir. Bu bilmeceyi çözmek evreni oluşturan unsurların aslan payının ne olduğunu söyleyecek, temel parçacık fiziği hakkında yeni detaylar ortaya çıkarabilecek, muhtemelen Büyük Patlama'nın doğasına dair ipuçları verecek ve evrenin sonunda nasıl öleceğini neredeyse kesinlikle belirleyecektir. Bu nedenle bu muammayı çözmek yirmi birinci yüzyıldaki kozmologların en acil öncelikleri arasında ilk sırada yer almaktadır.



Sabit uzunlukta bir ölçü çubuğu uzaklık arttıkça gitgide daha küçük bir açıya karşılık geleceği için bu açıyı ölçerek uzaklığı bulabilirsiniz. Astronomlar da büyüklüğü bilinen astronomik bir cisim ya da olguyu "standart cetvel" olarak kullanarak kozmolojik uzaklıkları bu şekilde belirler.

SEKİZİNCİ BÖLÜM

Daha Büyük Bir Patlama

"Uzay büyüktür. Gerçekten büyük. Ne kadar engin, devasa ve akıllara durgunluk verecek büyüklükte olduğuna inanamazsınız. Yani eczaneye giden yolun çok uzun olduğunu düşünebilirsiniz ama bu, uzayın yanında mercimek kadar kalır."

Douglas Adams

Büyük Patlama kuramı, insan aklının parlak başarılarından biridir. Sıradan bir gökadanın, sıradan bir köşesindeki gözlem noktamızdan, evrenin 13,8 milyar yıl kadar önce, sıcak ve aşırı yoğun bir ateştopu olarak patlayarak doğduğu sonucuna vardık ve o zamandan beri sırayla gerçekleşen kozmik olayları da hemen hemen çözdük sayılır.

Ancak 1970'lerin ortalarında, Büyük Patlama'nın çözemediği bazı ince detaylar olduğu ortaya çıkmaya başlamıştı. Bunların ilki, *ufuk problemi*[1] olarak biliniyor. Karanlık, bulutsuz ve tercihen Ay'ın olmadığı bir gecede dışarı çıkın ve göğün her iki ucuna bakın. Gökyüzü her doğrultuda hemen hemen aynı görünecektir. Bakışınızı nereye odakladığınıza göre farklı gökcisimleri ve takımyıldızları göreceğiniz doğrudur ancak genel olarak bunların dağı-

1 Horizon problem. (ç.n.)

lımı her yerde aynıdır; gökyüzünün bir tarafında ışıl ışıl bir aydınlık görürken diğer tarafında dipsiz bir karanlığa boğulmazsınız.

Gezegenimizden çıplak gözle görebildiğimiz şeylerin çoğu kendi gökadamız içerisinde yer alır. Ancak hem Dünya'da hem de yörüngede atmosferin silikleştirici pususundan arınmış astronomik teleskopların büyük ölçekte gördüğü şey benzerdir: Evrenin niteliği tüm doğrultularda birdir. Fakat bu bir sorun oluşturur çünkü evrenin böyle olması için hiçbir geçerli neden yoktur.

Albert Einstein, bize hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı gidemeyeceğini söylemişti. Örneğin aralarında bir ışık yılı (ışığın bir yılda katettiği mesafe) bulunan iki cismin, en az bir yıl boyunca birbiri üzerinde hiçbir etkisi olmaz; bundan daha kısa bir süre, bu cisimlerin fiziksel durumlarıyla ilgili birbirlerine bilgi iletebilmeleri için yeterli değildir.

Evrenimizin şimdiki yaşının 13,8 milyar yıl olduğu tahmin ediliyor, bu da demek oluyor ki herhangi bir doğrultuda görebileceğimiz en uzak cisim ancak 13,8 milyar ışık yılı ötede olabilir. Durum böyleyse, göğün iki ucunun birbirinden ayrıklığı bunun iki katı kadar, 27,64 milyar yıl olmalı ve bu durumda Büyük Patlama gerçekleştiğinden bugüne geçen 13,8 milyar yıl boyunca birbirleriyle etkileşime girmemiş olmaları gerekir. O halde evrenin iki ucu nasıl oluyor da bu kadar benzer görünüyor? Bu, birbirinden uzak ve hiçbir iletişimi olmamış iki adada tamamen aynı hayvan türlerinin evrimleşmesini ummak gibi bir şey.

Aslında evrenin genişlediğini göz önünde bulundurursak bu biraz fazla bir basitleştirme olur. Yani bir gökadayı 13 milyar yıl önce, yani Büyük Patlama'dan sadece birkaç yüz milyon yıl sonra olduğu gibi görsek bile, 13 milyar yıllık kozmik genişleme sayesinde bugün bizden 43 milyar ışık yılı ötede olacaktır. Ama asıl nokta hâlâ aynı: Standart Büyük Patlama kozmolojisine göre, gökyüzünün iki ayrı ucu asla birbiriyle olağan bir etkileşimde bulunmuş olamaz.

Kozmik ufuk olgusuna istinaden isimlendirilen ufuk probleminin özü; gözlenebilen evrenin bir kenarının, ışık hızının sonlu bir değerde olması nedeniyle, kelimenin tam anlamıyla uzayın görebildiğimiz en uzak noktası olmasıdır. Fakat standart Büyük Patlama kuramıyla ilgili tek sorun bu değil. Bir diğeri de *düzlük sorunu*[1] olarak biliniyor.

Üçüncü bölümde gördüğümüz gibi George Lemaître 1920'lerin sonlarında Einstein'ın genel görelilik kuramının çözümleriyle ortaya çıkarak evrenin genişlemesini üç farklı şekilde tarif etti. Bu olasılıklar arasında fark yaratan özelliğin, evrenin ortalama yoğunluğu olduğunu gösterdi. Eğer ortalama yoğunluk metre küp başına yaklaşık on hidrojen atomu kütlesine eş olan kritik değerin altındaysa evren sonsuza dek genişlemeye devam edecekti. Bu değerden büyükse, kütleçekimi nihayetinde genişlemeyi durdurup tersine çevirecekti. Sonsuza dek genişleyen evren "açık" olarak adlandırılırken, nihayetinde çökecek olanın "kapalı" olduğu söylenir. Bu iki durum arasındaki evrende ise yoğunluk kritik değere isabet ediyor demektir. Bu durumda kütleçekimi ancak evrenin genişlemesini yavaşlatacak ve durmanın kıyısına getirecek güçtedir fakat asla tamamıyla durmaz. Bu da "düz" evren olarak bilinir.

Şimdi durum şu: Astronomik gözlemler, evrenin bugünkü yoğunluğunun bu kritik değerden biraz (yaklaşık %2 civarında) uzak olduğunu gösteriyor. Sorun şu ki, matematikçiler bunun kararsız olduğunu keşfettiler ve kritik değerden en ufak bir sapma bile zamanla büyüyecek ve evren yaşlandıkça etkisi artacaktır. Yoğunluk, kritik değere günümüzde bu kadar yakınsa, evren Büyük Patlama ile ortaya çıktığı zaman gülünç bir şekilde çok daha yakın olmalıydı. Fakat standart Büyük Patlama kozmolojisinin penceresinden baktığımızda böylesi ince bir ayarın varlığını açıklayabilecek hiçbir neden bulunmuyor. Evrenin düz modele neden

1 Flatness problem. (ç.n.)

bu kadar yakın olduğuna ilişkin bu esrarengizlik, düzlük sorunu olarak biliniyor.

Son olarak bir de *tek kutup sorunu*[1] var. En iyi parçacık fiziği kuramlarına göre, evrenin en erken zamanlarından beri uzayın atomaltı parçacıklarla yıkanmış olması gerekir. Sorun şu ki, buna dair en ufak bir belirti dahi görebilmiş değiliz. Parçacıkların aslında izole manyetik kutuplar olması durumu, *manyetik tek kutup*[2] olarak adlandırılmaktadır. Bu sıradışı bir durum çünkü günlük hayatımızda mıknatısların her zaman kuzey ve güney olmak üzere iki kutbu bulunur, yani tamamıyla *çift kutuplu*durlar.[3] Eğer bu kozmik garabetler gerçekten varlarsa, kendilerini çoktan göstermiş olmaları gerekirdi.

Parçacık fiziği tek kutupluların, Büyük Patlama'dan kısa zaman sonra gerçekleşen *evre geçişleri*[4] sırasında oluştuklarını öngörür. Evre geçişi, evrenin geçmişinde gerçekleşmiş ve fiziksel evrelerin köklü değişiklikler geçirdikleri bir olaydır. Günlük yaşantımızda da bunları görürüz, tıpkı sıcaklığı azaldığında suyun donarak buz olması gibi. Ancak tahmin edebileceğiniz gibi, kozmolojideki etkileri daha çarpıcıdır; birazdan bahsedeceğimiz gibi fizik kanunlarında topyekûn değişikliklere yol açabilirler. Şimdilik önemli olan, bu parçacıkların günümüze dek sağ kalabilmiş olmaları gerektiği, ancak bu durumda onların varlıklarını araştıran tüm deneylerin neden hepsi boşa çıkıyor?

Bu üç sorunun modern çaresi de *kozmik enflasyon*[5] adı verilen kuramda yatıyor. 1970'li yıllardan beri birçok fizikçi benzer fikirler üzerinde çalışmış olsa da ilk kez 1980'de standart Büyük Patlama kozmolojisinin sorunlarına tutarlı bir çözüm olarak enflasyon, Amerikalı fizikçi Alan Guth tarafından sunuldu.

1 Monopole problem. (ç.n.)
2 Magnetic monopole. (ç.n.)
3 Dipole. (ç.n.)
4 Phase transitions. (ç.n.)
5 Cosmic inflation. (ç.n.)

Atomaltı parçacıkların dünyasında hüküm süren kanunlar üzerinde uzmanlaşmış olan Guth, öncelikle tek kutup sorununu çözmekle ilgilendi. Bazı kozmik evre geçişlerinde, boş görünen uzayda hapsedilmiş olan vakum enerjisinin evrene tamamıyla hükmetmesinin mümkün olabileceğini fark etti. Önceki bölümde gördüğümüz gibi, boş uzay o kadar da boş değil, bir var olup bir kaybolan atomaltı parçacıklardan oluşan, vızıltılı bir arka plana ev sahipliği yapmakta. Bu parçacıklar beraberlerinde enerji getirdikleri için boş uzayın enerjisi, yani vakum enerjisi sıfır değil, öngörebileceğiniz gibi sıfırdan büyük. Ve evrende çok fazla alan olduğu için, vakum enerjisinin evrendeki madde bileşenini gölgede bırakması da imkânsız değil. Bu durum için evrenin *vakum baskın*[1] olduğu söylenir.

Yedinci bölümde kozmolojik sabit olarak da bilinen karanlık enerjinin nasıl bir tür vakum enerjisi olduğunu ve bugünkü evrenin genişlemesinde nasıl hızlandırıcı bir rol üstlendiğini görmüştük. Guth'un enflasyon kuramında Büyük Patlama'dan kısa zaman sonra, vakum enerjisi evrende baskın hale geliyor ve evrenin boyutunu 100 milyon milyar milyar (1'in ardında yirmi altı adet sıfır var) katına çıkaran, aşırı hızlı bir genişleme evresinden geçmesine neden oluyor. Bu kozmik genişleme neredeyse başlar başlamaz bitiyor. Ancak yine de ufuk, düzlük ve tek kutup sorunlarını tek hamlede çözmeye yetiyor.

Enflasyon, bugün gözlenen evren olarak gördüğümüz şeyin Büyük Patlama'da doğal süreçlerin, evrenin iki ucu arasındaki kütle yoğunluğu veya sıcaklıktaki farklılıkları gidermesi için yeterince zamana sahip olmasına imkân verecek kadar küçük hacimde bir uzaydan ortaya çıktığı anlamına gelir. Sonrasında enflasyon, bu hazır dengelenmiş uzay topağını alıp, bugün gökyüzümüzü (ve ötesini) dolduracak şekilde şişirerek ufuk problemini çözdü.

1 Vacuum dominated. (ç.n.)

Bu bir dalavere gibi gelebilir. Ufuk probleminin özünde Einstein'ın kozmik hız sınırı olan ışık hızı nedeniyle, sinyallerin evren doğduktan sonra göğün bir ucundan diğerine ulaşmaya yetecek kadar vakitlerinin olmaması var. Ama buna rağmen şimdi sizi uzayın, dengelenmiş bir Büyük Patlama parçasını alıp bunu gözlemlenebilir evreni doldurana dek ışık hızından da hızlı bir şekilde patlatmak gibi gayrimeşru bir işi kendi başına gerçekleştirmesinde bir sıkıntı olmadığına ikna etmeye çalışıyorum.

Aslında bu iki senaryo arasında ince bir fark var. 1905 yılında Einstein, hareket halindeki cisimlerin dinamiğiyle ilgili özel görelilik kuramını formüle ederken (bkz. ikinci bölüm), ışık hızında hareket eden cismin enerjisinin sonsuz olduğunu bulmuştu. Her ne kadar bazı matematikçiler sonsuzluk kavramını pek sevseler de, fizikçiler bundan nefret eder. Bunun nedeni, bir kuram dahilinde ortaya çıkan sonsuzluğun, genellikle bir şeylerin ters gittiğinin işareti olmasıdır çünkü gerçek hayatta çok büyük nicelikler mümkün olsa da (dilerseniz bir kozmoloğa sorabilirsiniz), ölçülemez büyüklükler söz konusu değildir. İstisnalara rağmen doğa genellikle sonsuzluktan nefret eder ya da en azından haz etmez diyebiliriz. Çünkü "sonsuz" aslında "sınırsız" anlamına gelir ve sınırsız diye bir şey yoktur. Olsa bile, onları ölçmemizin bir yolu yoktur. Örneğin sonsuz uzun bir şeyi ölçmek için sonsuz uzun bir cetvel gerekir.

Sonuç olarak, ışık hızında hareket eden cisimler sonsuz enerjiye sahipse, ışık hızı, herhangi bir şeyin hareket edebileceği en yüksek mutlak hız sınırıdır. Veyahut herhangi bir şeyin uzay *içinde* çıkabileceği en yüksek hızdır. Ancak burada uzayın kendisinin nasıl hareket edebileceğine dair hiçbir bilgi yok. Bu, yine ikinci bölümde gördüğümüz, Einstein'ın 1915'te yayımladığı, madde ve enerjinin evrendeki dağılımına bağlı olarak uzay ve zamanın şeklinin nasıl bozulduğunu ve genişlediğini gösteren genel görelilik kuramının konusuydu. Bu şekil bozukluğunu biz kütleçekimi olarak gözlemliyoruz.

Özel görelilik, cisimlerin uzaydaki seyahatleri boyunca erişebilecekleri hıza kesin bir sınır koysa da genel görelilik, uzaydaki iki noktanın birbirinden ne hızla uzaklaşacağına dair herhangi bir sınır belirtmiyor. Örneğin, evrenin genişlediğini ve uzayda ne kadar uzağa bakarsak genişleme oranının da ona bağlı olarak arttığını biliyoruz (bu Hubble yasasıdır. Bkz. üçüncü bölüm). Bildiğimiz kadarıyla kozmik genişlemenin ışık hızı sınırını aştığı kritik bir uzaklık gerçekten de mevcut ve bunun ötesindeki yıldızlar ve gökadaların ışıkları bize asla erişemeyecek.

Öyle ki, ışıktan hızlı bir uzay aracı için aracın önündeki uzayı hızla büzüştürürken aynı anda arkasındaki uzayı da genişleterek aracı hedefine çarçabuk sürükleyen bir etkiyi inceleyen kuramsal bir tasarı bile mevcut. Her ne kadar hayli şüpheli bir durum olsa da dayandığı fizik gayet sağlam. Üstelik televizyon dizisi *Star Trek*'le ünlenen "büküm motoru"[1] bu bilimsel denginden yaklaşık otuz yıl önce ortaya çıkarak, bilimkurgunun bilimsel gerçekleri öngörüşünün diğer bir örneği olmuştur.

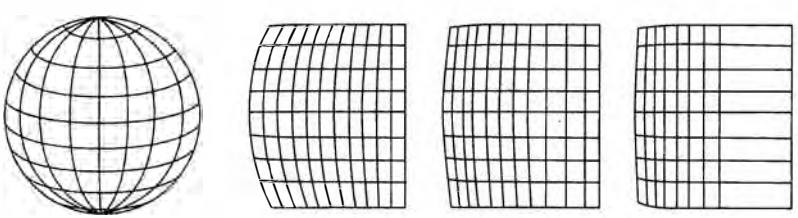
Her ne kadar görelilik kuramının özünde uzayın genişleme hızına dair bir sınır olmasa da, bilim insanları madde ve enerjinin özelliklerini sınırlandıran bazı görüşlerin temel olasılıklarını ortaya çıkarmaya çalışmış ve bunun sonucunda da uzay ve zamanın biçim bozukluğuna uğrayabileceği daha saçma yolları elemişlerdir. Bu sınırlamalar *enerji koşulları*[2] olarak bilinir. Tıpkı zamanda geçmişe yolculuğu icat eden bazı kuramsal tasarılar gibi, büküm motorunun da bu koşulların çoğunu ihlal ediyor olması hiç şaşırtıcı değildir. Enflasyon, en azından Guth'un tanımladığı şekliyle, bunlardan biri olan *güçlü enerji koşulu*nu[3] çiğnemektedir. Bunun nedeni, tıpkı bir önceki bölümde gördüğümüz karanlık enerjide olduğu gibi, enflasyonun itici maddesinin negatif basınca sahip

1 Warp drive. (ç.n.)
2 Energy conditions. (ç.n.)
3 Strong energy condition. (ç.n.)

olması gerekliliğidir. Üstelik hem kozmolog ve astronomlar hem de Nobel kurulu bunun gerçekliğine epeyce ikna olmuş durumda. Ancak enflasyonun etmeni olan negatif basınç yaratan malzeme miktarının, bugün gördüğümüz kozmik hızlanmayı görece sakinleştirmekten sorumlu olan karanlık enerjiyi gölgede bıraktığı düşünülmekte. Böylelikle evrenin enflasyonlu genişlemesinde, uzayın bir bölgesinin diğer bir bölgesinden ışıktan da hızlı bir şekilde ayrılması mümkün olur. Kuramın problemi çözmesini mümkün kılan, gece gökyüzüne baktığımızda göğün iki karşı ucunu hemen hemen benzer yapıda görmemizi sağlayan da budur.

Düzlük problemi için de benzer şıklıkta bir çözüm mevcut. Kökeni, eğri cisimlerin büyüklükleri arttıkça eğriliklerinin daha az belirgin olmasında yatıyor. Enflasyondan önce evrenin yaklaşık 10 santimetre çapında bir portakal büyüklüğünde olduğunu düşünün (aslında çok daha küçüktü tabii ama şimdi sadece düşünsel bir deney yapıyoruz).

Portakalı önünüze aldığınızda ne kadar eğri bir yüzeyi olduğu açık; düz olmadığı kesin. Şimdi diyelim ki enflasyonun ardından portakalımız Dünya büyüklüğüne gelmiş olsun. (Aslında enflasyondaki büyüme oranı bir portakalı 100 milyon milyar milyar kere büyüterek, bildiğimiz en büyük gökada kümelerine benzer bir boyuta ulaştırır ama olsun, bu yine sadece düşünsel bir deney!) İşte enflasyonun düzlük problemini çözmek için evrene



Astronomlar evrenin neredeyse düz olduğunu belirtiyor. Ama neden? Enflasyon, tıpkı bir topun büyüklüğü arttıkça düzmüş gibi görünmesine benzer şekilde, eğri evrenin düz göründüğü açıklamasını öne sürer.

yaptığı şey de tam olarak bu; uzayı o kadar geriyor ki eğriliği gözden kayboluyor.

Üç sorun arasında enflasyonun en kolay hallettiği tek kutup sorunu olsa gerek: Uzayın hızlı genişlemesi, tek kutupların yoğunluğunu tıpkı bir bardak konsantre portakal suyunu seyreltir gibi, öyle aşırı derecede seyreltmiştir ki, gözlemlenebilir evrendeki sayıları yeterince azalmıştır. Tek kutup yoğunluğunun sıfıra kadar düşmesi gerekmediğine dikkatinizi çekerim. Gözlemlenebilir evrende uzun uzadıya her yeri araştırmış değiliz ancak yoğunluğunun hiçbir tek kutup görmeyeceğimiz kadar düşük olması bizi mutlu etmeye yeter. Enflasyon da bunu yapıyor zaten.

Enflasyon, fizikçileri ne zamandır huzursuz eden kuramsal bir ikilemi de ortadan kaldırmıştı. İkinci bölümde genel göreliliğin genişleyen evrenin yaşamına tekillik adı verilen sonsuz yoğun bir nokta olarak başlaması gereksinimi olduğunu görmüştük. Karadeliğin kalbinde de sonsuz yoğunluğundan kaynaklanan, vahşi kütleçekim alanının üzerine düşen hiçbir şeyin kaçmasına izin vermeyen bir tekillik yer almaktadır. Ancak hiçbir şey kütleçekimin tekilliğinden kaçamıyorsa, nasıl oluyor da evrenimizi oluşturan madde ve enerji bunların birinden ortaya çıkabiliyor? Burada da enflasyon, embriyonik evren yeniden kendi üzerine çökmeden önce onu tekillik halinden uzaklaştıran hızlı bir patlamayla yardıma koşuyor.

Ancak çok geçmeden Guth'un enflasyonlu evrenle ilgili bu ilk görüşünde bir pürüz olduğu ortaya çıktı. Evreni bugün içinde yaşadığımız haldeki gibi yıldızlar, gezegenler ve gökadalarla dolu ve enflasyonun daha sakin olduğu bir evreye geçirmenin güvenli bir yolu yok. Bunun nedenini anlamak için enflasyonun ilk olarak nasıl başladığını bulmamız gerek.

Kurama göre enflasyon, evrenin ilk zamanlarında, manyetik tek kutupların doğumuna neden olduğuna inanılan türden bir evre geçişi sırasında harekete geçmiş. Sıcak halden soğuk

hale geçen evre değişimleri genellikle doğadaki bir tür simetrinin bozulmasıyla ilişkilendirilir. Tıpkı sıvı suyun donarak buza dönüştüğü evre değişimindeki gibi. Bir bardak su soğuyunca su içindeki gelişigüzel sıcaklık değişiklikleri ve kirlerin varlığı, sıcaklık 0 santigrat dereceye erişir erişmez tüm bardağın aniden bir anda donmayacağı anlamına gelir. Bunun yerine evre geçişi, sıvı içindeki rasgele yerlerde *çekirdeklenir*[1] ve katı hal (buz) bu noktalardan dışa doğru yayılır. Ve tüm çekirdeklenme noktalarındaki buzun genişleyen yüzeyleri birbiriyle çarpışıp her yerde birleştiği zaman evre değişimi tamamlanmış kabul edilir. Sonuç, bölgelere bölünmüş bir bardak dolusu buzdur. Su dondukça molekülleri bir arada tutan bağlar, molekülleri her bölgede belirli bir doğrultuda hizalar; tıpkı tuğlaların bir duvarda birbirine bağlandıkları zaman hepsinin doğal olarak birbiriyle hizalanması gibi. Her bir çekirdeklenme noktası birbirinden bağımsız belirdiğinden, herhangi iki noktadaki moleküllerin yöneliminin aynı olması için hiçbir sebep yoktur. Bunu, başlangıç hali çok daha simetrik olan suyla kıyasladığımızda sıvıdaki moleküller hareket etmekte serbesttir ve her bir nokta da birbirinden bağımsız yönde hareket eder.

Yani su buza dönüştükçe simetri bir mertebe kaybolur, aynı şey evrenin ilk zamanlarındaki evre geçişleri için de geçerlidir. Ancak kozmik evre geçişi sırasında simetriler su moleküllerine değil, maddenin daha küçük atomaltı parçacıklarının davranışlarına benzer. Altıncı bölümde gördüğümüz gibi atomaltı parçacıklar, uzaya sinmiş enerjinin kuantum alanlarından yoğunlaşan minik damlalar gibi düşünülebilir. Kuantum alanını, parçacıklarının yüzey boyunca hareket eden dalgalanmalar gibi davrandığı bir göl yüzeyine benzer şekilde düşünebilirsiniz. Örneğin ışık parçacıkları olan fotonlar, elektromanyetik alanda tıpkı bu dalgalanmalar gibidir. Özel göreliliğin (bkz. ikinci bölüm), hızlı hareket eden

1 Nucleated. (ç.n.)

atomaltı parçacıklara uygulanışının beklenmedik bir sonucu olan kuantum alan kuramı, yirminci yüzyılın ilk yarısında ortaya çıkmıştır.

En temel kuantum alanı, aynı zamanda enflasyonla da ilişkili olan *skaler alan*dır.[1] Büyüklüğü olan ancak yönü olmayan şeyler matematikte skaler olarak adlandırılır; günlük hayattaki rüzgâr hızı, hem büyüklüğü hem de yönü olan niceliklere bir örnektir. Öte yandan sıcaklık, termometrede sadece büyüklüğü ölçülen ve hiçbir yönü olmayan bir skalerdir. Kuantum skaler alanları bu kadar sezgisel değildir ancak genel olarak konuşmak gerekirse, herhangi bir noktadaki değeri orada bir alan parçacığı bulmanızın ne kadar olası olduğunu belirtir.

Şimdiye kadar elimizde kanıtı bulunan tek skaler olan kuantum alanı, 2012'de CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı parçacık hızlandırıcısında keşfedilmiş olan ünlü Higgs bozonu parçacığının Higgs alanıdır (bkz. altıncı bölüm). Hem parçacık hem de alanı 1960'lı yıllarda, aralarında Edinburgh Üniversitesi'nden Peter Higgs'in de yer aldığı bir grup fizikçi tarafından, atomaltı dünyada evrenin ilk zamanlarını yöneten doğa kuvvetleri bugün gördüğümüz kuvvetlere evrilirken gerçekleşen, simetri bozucu kozmik evre geçişlerine imkân veren bir mekanizmanın bir parçası olarak öne sürülmüştü.

Higgs mekanizması, sonradan ışık ışınlarının, elektrik yüklerinin ve mıknatısların davranışından sorumlu olan elektromanyetizmanın ve atomların çekirdekleri içinde etkin iki kuvvetten biri olan zayıf çekirdek kuvvetinin, başlangıçta nasıl doğanın tek bir elektrozayıf kuvveti olarak birleşmiş olduğunu açıklayan bir kuramı çalıştırmak için kullanıldı. Genişleyen evrenin sıcaklığı bir milyon milyar santigrat derecenin altına indiğinde elektrozayıf kuvvet simetri bozucu bir evre geçişiyle kendisini oluşturan iki

1 Scaler field. (ç.n.)

bileşene ayrıldı. Elektrozayıf kuram, kâşifleri olan fizikçi Sheldon Glashow, Steven Weinberg ve Abdus Salam'a 1979 yılında fizik alanında Nobel kazandırdı. Nihayet 2012 yılında CERN'de gözlenen de, bu elektrozayıf Higgs parçacığıydı.

Elektrozayıf kuvvetin kendisi de *büyük-birleşik evre geçişi*[1] adı verilen benzer bir olayda ortaya çıkmıştı. Elektrozayıf kardeşine göre kozmik evrenin daha önceki zamanlarında ve daha yüksek enerjide, evrenin sıcaklığı milyar milyar milyar santigrat derecenin altına indiği zaman gerçekleşmişti.

Kozmik enflasyona neden olan şeyin bu büyük birleşik evre geçişi esnasındaki Higgs benzeri bir skaler alan olduğu düşünülüyordu. Manyetik tek kutupların da oluşturulduğu yer olduğu için, bunun kozmik geçmişte enflasyonun gerçekleşmesi için en olası nokta olduğunu biliyoruz. Basitçe akla yatkınlık çerçevesinden bakacak olursak, iki olgunun birbirini sönümleyebilmesi için benzer enerji ölçeklerinde bir fizik içermelerini bekleriz; doğudan gelen bir kasırgayı, batıdan hafif bir esintiyle dindiremezsiniz. Yani evren, tek kutup oluşumuyla enflasyonun başlangıcı arasında kayda değer ölçüde soğusaydı, sorunu çözmek için enflasyonun enerjisi yeterli olamazdı.

Büyük birleşik geçişin kuramsal detayları henüz tamamıyla anlaşılmamış olduğu için, bilim insanları bu alanın tam olarak nasıl davrandığını bilmiyor. Ancak Guth, enflasyona dair çalışmalarının ilk taslağını geliştirirken, skaler alanların *sahte vakum*[2] adı verilen bir halde tutsak kalabilecekleri görüşü parçacık fizikte ilgi kazanmaktaydı.

Bu, daha önce karşılaştığımız negatif basınç özelliğine sahip vakum benzeri bir alansal durumdu ve tıpkı önceki bölümdeki karanlık enerji gibi, evrenin genişlemesinin hızlanmasına neden

1 Grand-unified phase transition. (ç.n.)
2 False vacuum. (ç.n.)

olmaktaydı. Ancak burada sahte vakum enerjisi, gerçek vakumdan çok büyük miktarda, 10'un 27. kuvveti kadar (10'un 2. kuvveti 100, 3. kuvveti 1000 ve böyle artıyor) daha fazla olduğu için, ortaya çıkan hızlanma oranı aşırı derecede hızlıydı. İşte enflasyon budur.

Alan, sonsuza dek sahte vakum içine hapsolmamıştır. Altıncı bölümde gördüğümüz gibi, kuantum varlıkları, yaşamlarını rasgele olasılık kanunlarına göre sürdürürler. Özellikle Heisenberg'in belirsizlik ilkesi, tıpkı kısa süreli sanal parçacıklar yaratmak için boş uzayın vakumundan enerji ödünç alınabildiği gibi, sahte vakumda hapsolmuş skaler alanın da kaçıp asıl vakum haline erişebilmek için enerji ödünç alabileceğini söyler. Bu kuantum alanları ve parçacıklarının, aşılması imkânsız görünen engellerin üstesinden gelebilmesi işlemi kuantum tünelleme olarak biliniyor. Günümüzde radyoaktivite, Güneş'teki çekirdek kaynaşmaları ve bilim insanlarının atomların tek tek akıl almaz görüntülerini yakalamalarına izin veren taramalı tünelleme mikroskobu[1] gibi bir yığın gerçek dünya sürecinde görülmektedir.

Kuantum tünelleme gelişigüzel bir işlem olduğu için uzayda gelişigüzel serpiştirilmiş gerçek vakum çekirdekleme noktaları oluşturur. Az önce suyun donarak buz olmasında gördüğümüz gibi gerçek vakum baloncukları bu çekirdeklenme noktalarından dışa doğru genişler. Ancak baloncuk duvarları ışık hızından daha hızlı genişleyemediği için enflasyon uzayda daha hızlı bir oranda esner. Bu nedenle buluşmaları ve çarpışmalarının bir yolu yoktur; uzayın genişlemesiyle başa çıkamayışları birbirlerinden ayrı kalmalarına neden olur.

İşte Guth'un enflasyon görüşündeki sorun burada ortaya çıkıyor. Enflasyonun, evreni bugün gördüğümüz gözlemlenebilir evrene benzer bir şeye dönüşebileceği bir hale getirmesi gerekiyor. Özellikle hızlı genişleme, uzayın sıcaklığını 100.000'de biri civarı-

1 Scanning tunelling microscope. (ç.n.)

na düşürerek aşırı derecede soğutmuş. Eğer evrenin gökadalar, yıldızlar ve nihayetinde insanların oluşabileceği sıcak Büyük Patlama kozmolojisine geri dönmesini istiyorsak, onu yeniden ısıtacak bir şey olması gerekir. Bu sürece kozmologlar *yeniden ısınma*[1] adını veriyor. Aslında bu hapsolmuş skaler alan nedenli enflasyonda bunu yapmak için bol miktarda enerji mevcut ama ana soru bunun nasıl açığa çıkacağı. Steven Weinberg'le birlikte çalışan Guth, enflasyonun mevcut halinde, alan enerjisinin tamamının baloncuğun duvarlarına yığılmasıyla gerçek vakum baloncuklarının içinin aşırı soğuk halde kalacağını hesapladı. Bu, yeniden ısınma için gerekli parçacık ve ışınımın üretilmesinin tek yolunun duvarların şiddetle çarpışmasından geçtiği anlamına geliyordu. Ancak görmüş olduğumuz gibi bu imkânsızdı. Bu mesele *zarif çıkış sorunu*[2] olarak biliniyor.

Çözüme 1982 yılında üç fizikçi öncülük etti: ABD'de çalışan Andreas Albrecht ve Paul Steinhardt ile Sovyetler Birliği'nde bağımsız çalışan Andrei Linde. *Yavaş yuvarlanan enflasyon*[3] olarak bilinen bu fikir, skaler alanın hapsolması yerine çok yavaş bir şekilde serbestçe hareket ettiğini öne sürüyor. Bu sayede evren, enflasyonun standart Büyük Patlama kozmolojisinin temel sorunlarını çözmesi için vakumun baskın olduğu aşamada yeterince vakit geçirmiş oluyor ve ardından yumuşak bir şekilde düşük enerjili gerçek vakum haline geçiyor.

Hiç sahte vakum olmaması, bu senaryoda hiç baloncuk çekirdeklenmesinin gerçekleşmeyeceği anlamına geliyor ve bu durumda tüm alan enerjisini kıstıracak herhangi bir baloncuk duvarı da söz konusu olmuyor. Bunun yerine alan, ileri geri salınım yaptığı gerçek vakuma doğru yumuşakça yuvarlanıyor. Tıpkı bir salıncağın kademeli olarak durmasına benzer şekilde alanın salınımlarının

1 Reheating. (ç.n.)
2 Graceful exit problem. (ç.n.)
3 Slow-roll inflation. (ç.n.)

büyüklüğü de, enerjisi parçacıklara ve ışınıma dönüşerek yayıldıkça azalmakta; sanki derin-serinlemiş[1] evreni yeniden ısıtmaya bir davetiye gibi. İşte bu da yavaş yuvarlanan enflasyonun zarif çıkış sorununu çözme şekli. Bugün üzerinde düşünülen çoğu enflasyonlu evren modelinde benzer fikirler mevcut.

1990'lı yıllarda Sussex Üniversitesi'nde doktora çalışmalarım için araştırmalarını sürdüren bir öğrenci olarak benim enflasyon kuramına katkılarımdan biri, yavaş yuvarlanan enflasyonlu evrenleri basitleştirecek analitik yöntemlerin geliştirilmesine yardım etmek olmuştu. Alanın davranışını ve uzayın genişleme oranını belirleyen matematiksel denklemler, Einstein'ın genel görelilik kuramından gelmekte ve birkaç özel durum hariç hepsini tamamıyla çözmek çok meşakkatli. Kozmolog John Barrow, Andrew Liddle ve ben, yavaş yuvarlanma enflasyonu süresince skaler alanın zamanla değişim oranının aslında tanım gereği çok küçük olması gerektiği gerçeğinden faydalandık. Yani işin o kısmının matematiğiyle muntazaman uğraşmak zorunda kalmadan, doğruluktan fazla ödün vermeksizin sadece tahmin edebildik. Bu da bizi, herhangi bir yavaş yuvarlanan enflasyonlu dönem için denklemlere neredeyse tamamen doğru çözümler üretmemize imkân veren sistematik bir çerçeveye götürmüş oldu. Bu yaklaşım uygulamasından yola çıkarak, astronomların gözlemlerini herhangi bir yavaş yuvarlanmalı enflasyon modeliyle test edebilmeleri için gökyüzünün nasıl görünmesi gerektiğine dair öngörüler üretmeyi de başarmıştık, ancak buna gelecek bölümde değineceğiz.

Müteveffa Profesör Hawking ve ekip arkadaşları o zamanlar "yeni" enflasyon olarak bilinen ve Albrecht, Steinhardt ve Linde'nin öne sürdüğü yavaş yuvarlanan enflasyonun özgün halinin, evrenin bugün kozmik arka plan ışınımının yapısında (bkz.

1 Burada alıştığımız söylem olan "derin dondurma"dan yola çıkılıyor ancak donacak kadar soğuk değil, sadece serinleme söz konusu. (ç.n.)

dördüncü bölüm) görüldüğü hale gelmesine olanak tanımasının, astronomik gözlemlerin ihtimalleri dahilinde olduğunu sonradan gösterdiler. Diğerleri ise yeni enflasyon için gerekli başlangıç koşullarının (vakum hâkimiyetinde yavaşça evimleşen bir skaler alan görülmesinin) gerçekdışı olduğunu ve ince ayar sonununa yol açacağını öne sürdüler. Her ne kadar yavaş yuvarlanan enflasyonun modern gözlemsel kısıtlamaları karşılayan ve ince ayar meselesini çözen yollar bulan birçok yeni çeşidi tasarlanmış olsa da, 1983 yılında Andrei Linde tarafından öne sürülen başka bir enflasyonlu model epey ilgi odağı oldu.

Linde, mevcut enflasyonlu modellerin, çoğunlukla skaler alanın kuantum davranışını ihmal ettiğini fark etti. Yani altıncı bölümde gördüğümüz parçacık ve atomaltı alanların fiziğini düzenleyen olasılık kanunlarında rasgelelik hiç hesaba katılmamıştı. Linde, bu tam kuantumsal davranışın modele dahil edildiği durumda ne olacağını merak etti. Yumuşak yuvarlanma yerine aynı varsayımlar altında alanın hareketine bir mertebe seğirme eklenmişti. Alanın *ortalama* eğilimi gerçek vakuma sürüklenme şeklindeydi ancak kuantum salınımları sayesinde oraya genellikle rasgele dolambaçlı bir gezintiyle varıyordu. Alanın ortalamadan sapma mertebesi uzay boyunca noktadan noktaya değişiyordu. Bazı bölgelerde neredeyse doğrudan gerçek vakuma yöneliyordu. Ama geri kalanında rasgele salınımlar onu öncelikle vakum halinden öteye taşıyıp orada tutuyordu. Ve bu, görmüş olduğumuz gibi kozmik enflasyonun gerçekleşmesi için gerekli reçeteydi.

Uzayın ufacık bir bölgesindeki alanın vakum baskın hale gelmesi için tek gereken, enflasyonu tetiklemesiydi ve bunun ardından bölge artık ufak kalmıyor, hızla genişleyerek evrende hacimsel bir baskınlık sağlıyordu. Bu rasgelelik sürecin doğasında olduğu için Linde kuramın bu çeşidini *kaotik enflasyon* olarak adlandırmıştı. Bu oldukça basit bir fikir. Hiçbir evre geçişi gerekmiyor ve yavaş yuvarlanan enflasyondaki gibi baloncuk çekirdeklenmesi de yok.

Bunun yerine uzayın bazı bölgelerindeki alan, en sonunda tesadüfi bir şekilde enflasyondan çıkıyor ve gerçek vakuma doğru yuvarlanırken enerjisini ışınım ve parçacıklara dönüştürüyor ve böylece de evren yeniden ısınıyor. Kaotik enflasyonun öngördüğü tahminler günümüzde astronomik gözlemlerle de iyi bir uyum sağlıyor.

Kısa zaman sonra Paul Steinhardt, Linde'nin fikrinin ilgi çekici bir sonucunu ortaya koydu: Bu durumda enflasyon asla tamamıyla sona eremezdi. Evet, küçük bölgelerde enflasyon duracak, yeniden ısınma meydana gelecek ve standart Büyük Patlama kozmolojisine doğru evrimleşecekti; biz de bu bölgelerden birinde yaşıyorduk. Ama herhangi bir enflasyon artığı kırıntısı hızla genişleyip baskın geleceği için, bugün akıl almaz derecede geniş evren yığınları hâlâ şişmeye devam ediyor olmalı ve sonsuza kadar da öyle devam edebilmeli. Buna göre Steinhardt, modelin bu dirilişini sonsuz enflasyon olarak adlandırdı. Her ne kadar Guth ve Linde'nin de aralarında bulunduğu diğer araştırmacılar için bu hâlâ popüler olsa da, Steinhardt artık kendini bu fikirden uzaklaştırmıştı.

Enflasyon her ne kadar gerçekleşmesi zor bir hayal gibi gelse de parçacık fiziğinin güvenilir fikirlerine dayanmaktadır ve bir sonraki bölümde açıklayacağım gibi, önemli miktarda birikmiş astronomik kanıt sayesinde evrenin modern Büyük Patlama modelinin yapıtaşlarından biri haline gelmiştir.

2014 yılında Alan Guth, kuramın altyapı çalışmalarına ve daha sonra geliştirilmesine çokça katkıda bulunmuş olan Rus fizikçi Alexei Starobinsky ve Linde ile birlikte "kozmik enflasyon kuramına öncülük etmeleri" nedeniyle herkesin gıpta ettiği Kavli Astrofizik Ödülü ile onurlandırıldı.

Enflasyon sadece Büyük Patlama kuramının büyük ölçekli kusurlarını yamamakla kalmadı, bunun da ötesinde işler başararak evrenimizdeki gökadalar ve gökada kümeleri gibi yapıların nasıl oluştuğunu da açıkladı. Onlar olmasaydı ne yıldızlar, ne gezegenler ne de yaşam olurdu. Ve bu da bir sonraki durağımız.

DOKUZUNCU BÖLÜM

Gökadaların Doğuşu

"Ufak bir tohum, heybetli bir gövdeye dönüşebilir."

AESCHYLUS

Evrenimiz bugün etkileyici güzellikte bir yer. Her biri milyarlarca hatta trilyonlarca yıldıza ev sahipliği yapan yüz milyarlarca gökadayı barındırıyor. Dev eliptiklerden detaylı girdaplı sarmallara kadar sayısız farklı şekildeki gökada, yüz binlerce ışık yılı ötelere kadar dağılmış durumda. Her biri onlarca, hatta yüzlerce gökadaya ev sahipliği yapan ve büyüklükleri bir milyondan, onlarca milyon ışık yılına varan kümeler şeklinde düzenlenmiş. Kümeler de hiyerarşinin bir sonraki rütbesi olan süperkümeleri oluşturacak şekilde bir araya gelmiş. Bunlar yüzlerce milyon ışık yılı boyutunda. Süperkümenin bir ucundaki bir ışık ışınının kümenin diğer ucuna gitmesi, gerçekten de yüzlerce milyon yıl sürer. Her biri onlarca ile yüzlerce gökada kümesinden oluşan süperkümeler, genellikle Güneş'in kütlesinin neredeyse 1.000.000.000.000.000 katına sahiptir. Gözlemlenebilir evrenimizde 10 milyon kadar gökada süperkümesinin bulunduğu düşünülmektedir.

Yuvamız Samanyolu gökadası gaz, yıldızlar ve karanlık maddenin oluşturduğu sarmal bir disk. Yüz milyarlarca yıldızın evi. Yeni oluşmuş parlak yıldızlar, sarmal deseni aydınlatarak evrenin karşı yakasından bile görülebilmesini sağlıyor. Gökadamız 100-

200 bin ışık yılı çapında ve diski yaklaşık 2000 ışık yılı kalınlığında, bir küreden oluşan merkezi şişkinliği ise boydan boya yaklaşık 10.000 ışık yılıdır. Yıldızımız Güneş, Avcı[1] sarmal kolunun arka kenarında ve gökada etrafında merkezden kabaca 26.000 ışık yılı ötede dolanmaktadır.

Samanyolu elliden fazla gökadadan oluşan ve Yerel Grup olarak bilinen küçük bir kümenin üyesidir. En yakın yoldaşı olan Andromeda gökadası 2,5 milyon ışık yılı ötede, benzer bir sarmal yapıdadır ve karanlık, bulutsuz bir gecede Andromeda[2] takımyıldızında çıplak gözle ancak sönük bir bulanıklık olarak görülmesi mümkündür. Bu gökadayı bulmanın en kolay yolu "W" şeklindeki Kraliçe[3] takımyıldızını bulmaktan geçiyor. Bulunduğunuz yerden her zaman görülemese de görülebildiği zamanlarda W'nun alttaki iki ucuna bakarsanız, Andromeda'nın bu iki nokta arasındaki uzaklığın yaklaşık 3,5 katı kadar sağında yer aldığını görebilirsiniz. Çıplak gözle bulabilirseniz bir de dürbünle veya varsa teleskobunuzla bakmayı deneyin, görüntüsü çok etkileyicidir. Bakarken şunu da aklınızda bulundurun: Gözünüze ulaşan ışık gökadadan yola çıktığında Dünya'da henüz ilk insanlar evrilmemişti. Gerçekten de Andromeda, evrende çıplak gözle görülebilecek en uzak cisimdir. On sekizinci yüzyılda kuyrukluyıldız avcısı Charles Messier'nin sınıflandırdığı, gizemli, durgun, bulanık cisimlerden biriydi ve hâlâ onun adlandırdığı gibi M31 olarak anılmaktadır.

Yerel Grup, Laniakea Süperkümesi'nin bir parçası olan Başak[4] Süperkümesi'nin içine gömülüdür. Bu iki süperkümenin ayrıklığının tarihsel nedenleri bulunmaktadır. Başak Süperkümesi ilk olarak 1950'lerde tanımlanmış olsa da, daha büyük bir oluşumun parçası olduğu ancak 2014 yılında fark edildi. Laniakea 500 mil-

1 Orion. (ç.n.)
2 Zincirli Prenses olarak da bilinmektedir. (ç.n.)
3 Cassiopeia. (ç.n.)
4 Virgo. (ç.n.)

yon ışık yılını aşan büyüklüğüyle, 500 kadar gökada kümesine ev sahipliği yapmaktadır.

Daha da büyük ölçeklerde ise süperkümeler, evreni kaplayan kozmik bir ağ gibi, devasa ipliksi şebekeler halinde düzenlenmişlerdir. İpliksiler genellikle yüzlerce milyon ışık yılı uzunluğundadır. Her biri birbirinden, yüz milyonlarca ışık yılı genişliğindeki derin boşluklarla ayrılmış çok büyük madde tabakalarının kesişim yerleri olan bu ipliksiler, evrenin en büyük ölçeklerdeki yapısının sabun köpüklerine benzer olduğunu gösterir. Gördüğümüz en büyük tabaka ve gözlemlenebilir evrenimizde bilinen en büyük yapı olan Sloan Seddi,[1] 2003 yılında Sloan Dijital Gökyüzü Taraması[2] (SDSS) ile elde edilmiş verileri kullanan, Amerikalı astronomların oluşturduğu bir ekip tarafından keşfedildi. Bu duvarın uzunluğu 1,38 milyar ışık yılı, hayal edilmesi bile imkânsız. Öte yandan bizim de içinde bulunduğumuz Laniakea Süperkümesi, Kanada doğumlu astronom Richard Brent Tully'nin 1987 yılında keşfettiği Balıklar-Balina Süperküme Kompleksi[3] olarak bilinen ipliksinin bir parçası.

Evrenin büyük ölçekte üç boyutlu yapısının detaylıca haritalandırılması, SDSS ve sdFGRS gibi bu amaca adanmış derin alan görüntüleme projeleri sayesinde mümkün oldu. Gökadaların 2014 yılında yayımlanan Hubble Ultra Derin Alan[4] gibi sıradan teleskop gözlemleri, bize evrenin ancak iki boyutlu bir resmini verir. Uzak gökadaların tayfını ölçerek (parlak ve karanlık şeritlerin görüldüğü belirli desenleri görmek için ışığı bileşen renklerine ayırarak; bkz. birinci bölüm) ışıklarının, evrenin genişlemesi nedeniyle kırmızıya kayma miktarını saptamak mümkündü (bkz. birinci bölüm). Kırmızıya kayma miktarı gökadaların Dünya'dan uzaklaşma

1 Sloan Great Wall. (ç.n.)
2 Sloan Digital Sky Survey. (ç.n.)
3 Pisces–Cetus Supercluster Complex. (ç.n.)
4 Hubble Ultra-Deep Field. (ç.n.)

hızlarını ortaya çıkardı ve ardından Hubble Yasası'nı uygulayınca (bkz. üçüncü bölüm), her gökadanın ne kadar uzakta olduğunu bulan astronomlar, gözlemlenebilir evrenin 3B haritasını oluşturabildiler. Örneğin New Mexico-Apache Point Gözlemevi'ndeki SDSS, bu iş için adanmış bir teleskopla 2000 yılından bugüne veri toplamaya devam ediyor. Şimdiye kadar 8 milyar ışık yılına varan uzaklıklarda, tahminen 3 milyon cismin tayfı elde edildi.

Ancak kâinatımızın tüm o baş döndürücü güzelliğine rağmen hâlâ çözülmeyi bekleyen bir sorun vardı: Tüm bu zengin ve harika yapılar nereden gelmişti? Nihayetinde kozmologların enflasyonu (bkz. sekizinci bölüm) devreye sokmalarının nedeni, evrenin tüm doğrultularda kabaca aynı göründüğünden emin olarak ufuk sorununu çözebilmekti. Oysa enflasyon kendi başarısının kurbanı olmuştu. Enflasyonun düzgünce çözdüğü sorunları ortadan kaldırabilmesine yetecek ölçüde (100 milyon milyar milyar katı kadar) uzayı şişirmesi, evreni pürüzsüz bir bilardo topuna çevirmişti. Daha kolay anlayabilmek için Himalaya sıradağlarının 2400 kilometre uzunluğunda bir yay çizdiğini ve en yüksek tepesi olan Everest'in yüksekliğinin 8848 kilometre olduğunu ele alalım. Himalayalar'ın uzunluğunu enflasyonla aynı oranda büyütecek olursak, Everest'in yüksekliği bir protonun 10 milyonda birine küçülmüş gibi olur. O zaman nasıl oluyor da evrende süperküme ipliksileri ve karanlık boş oyuklar gibi böylesi devasa ve çelişkili yapılar görüyoruz?

1982 yılında Stephen Hawking'in hesapları bu sorunun cevabının enflasyonun kendisinde saklı olduğunu gösterdi. Enflasyon, Büyük Patlama'dan kısa zaman sonra evrenin genişleyip soğumasıyla, parçacık fiziği kanunları köklü bir değişime uğradığı zaman gerçekleşen bir evre geçişi sırasında oluştuğu düşünülen bir madde alanı olan skaler alanın evrende hüküm sürdüğünü öngörür (bkz. sekizinci bölüm). Uzayın muazzam bir oranda genişlemesine neden olan budur.

Hawking, enflasyona neden olan skaler alanın kuantum etkilerinin, önceki hesaplamalarda ihmal edilmiş olduğunu fark etti. Halbuki bunların önemli olduğunu düşünüyordu. Araştırmacılar, alanın sadece klasik (kuantumsal olmayan) davranışını göz önüne almıştı. Altıncı bölümde gördüğümüz gibi, kuantum kuramının kütleçekimi idare eden ve bu sayede de evrenin büyük ölçekli davranışını belirleyen genel göreliliğe uygulanması birçok teknik zorlukla doluydu. Bu yüzden ilk enflasyon modellerini oluşturan fizikçiler, mümkün olduğunda bunları göz ardı etmekte sakınca görmediler. Aslında bu durumun açıklaması mevcuttu: Tek ilgilendikleri, böylesi skaler alana sahip bir evreni dolduran büyük ölçekli etkilerdi ve enflasyon sırasında evrenin kuantum fiziğinin (tanımı gereği aşırı küçük şeylerin fiziğiyle ilgilendiği göz önüne alınırsa) kayda değer bir etki oluşturamayacağı kadar büyük olduğuna inanıyorlardı. Bu nedenle de göz ardı ettiler.

Hawking tıpkı bugünkü boş uzaydaki vakumda sanal parçacıkların var olup kaybolmaları gibi, Heisenberg'ün belirsizlik ilkesiyle de uyumlu olarak, skaler alanda da kuantumsal dalgalanmalar olması gerektiğini iddia etti ve böylelikle kuantum kuramı, enflasyona neden olan skaler alanın sürekli bir akış halinde olması gerektiğini öne sürdü. Ancak enflasyon sırasında evren sıradışı bir oranda genişlemekteydi ve bu da o ufak etkilerin kuantum dünyasından fırlayıp milyonlarca ışık yılı büyüklüğüne çıkmasına neden oldu.

Süreci, skaler alanın sanal parçacıkları olarak da düşünebilirsiniz. Bu parçacıklar kısa zaman sonra birleşip birbirlerini yok eden parçacık ve anti parçacık çiftleri halinde ortaya çıkıyorlar (bkz. altıncı bölüm). Ancak uzay genişlerken sanal parçacık çiftleri birleşme şansı bulamadan birbirlerinden uzaklara sürüklendiler. Sekizinci bölümde gördüğümüz gibi enflasyon uzayı öyle bir esnetir ki, iki nokta arası uzaklık, kozmik ufuk adı verilen kritik eşiği aştığı zaman noktaların birbirinden uzaklaşma hızı ışık hı-

zından da fazla hale gelir. Bu da birbirleri üzerinde herhangi bir etkileri olmasını ya da iletişimde kalmalarını imkânsız kılar. Skaler alanın dalgalanmalarının ortadan kaybolmak yerine "donarak içine işlediği" söylenir. Hawking'in büyüyüp gökadaları oluşturduğunu düşündüğü ilk yoğunluk düzensizlikleri, işte bu donmuş dalgalanmaların enflasyon nedeniyle kozmik uzunluk ölçeklerine şişmesidir.

Bu mekanizma ile enflasyon, sekizinci bölümde tartıştığımız ufuk probleminde gökyüzünün iki ucunun neden kabaca aynı göründüğünü güzel bir şekilde ortaya koyar. Enflasyona neden olan skaler alanın kuantumsal dalgalanmaları doğal olarak birbirine benzemektedir çünkü hepsi de aynı skaler alanın fiziğiyle belirlenmektedir. Enflasyon bu dalgalanmaları alır ve ışık hızından da hızlı bir şekilde kozmik ufuğun dışına sürükler. Enflasyon sona erdikten sonra evren, sakinleşerek çok daha yavaşlamış olduğu bugünkü genişleme evresine yerleşir. Burada, evrenin daha önce Dünya'dan görülebilmek için fazla uzak olan kısımlarından gelen ışığın nihayet Dünya'ya varması sayesinde kozmolojik ufuk da yavaşça genişler. Nihayetinde enflasyonun ışık hızından da yüksek hızlarla birbirinden uzaklaştırdığı o birbirine eş kuantumsal dalgalanmalar, yeniden gökyüzünün aksi uçlarında ufukta belirir ve işte bu nedenle gökyüzünün aksi uçları birbirine bu kadar benzer bir görünümdedir.

Hawking, yoğunluk dalgalanmalarının dağılımının kuantum kuramının öngördüğü şekilde evrende bugün gözlenen madde dağılımıyla uyumlu olduğunu hesapladı. Hawking'in haklı olması durumunda, uzayın farklı noktaları arasında enflasyon süresince kuantumsal süreçlerle oluşan bu minik madde yoğunluğu düzensizlikleri, aslında büyüyünce bugünkü evrendeki gökadaları, kümeleri ve süperkümeleri meydana getiren çekirdeklerden oluşmuş demektir.

Yoğunluk dalgalanmaları, Büyük Patlama'nın mikrodalgadaki

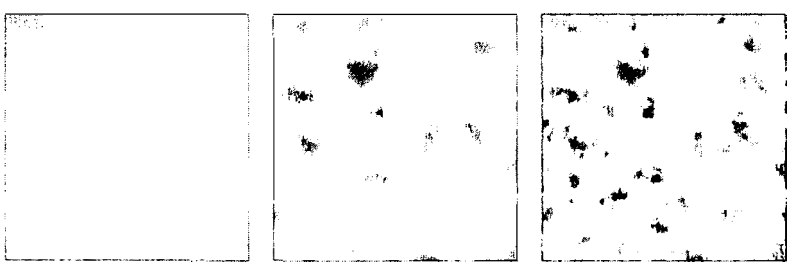
yankısı olan kozmik mikrodalga arka plan ışınımına (CMB) izini bırakmış olduğu için (bkz. 103. sayfa) evrenin ilk zamanlarında oluşması gerektiğini biliyoruz. Mikrodalga arka planı, CMB fotonlarının kütleçekimsel etkiyle dalgalanmaları sonucu oluşan sıcak ve soğuk noktalarla beneklenmiştir. Genel görelilikte kütleçekimin ışığı nasıl bükebildiğini ikinci bölümde görmüştük. Benzer şekilde, kütleçekimsel bir alanın dışına tırmanan ışınım fotonlarının bunu başarabilmesi için enerji harcalamaları gerekir ve bu nedenle fotonlar enerji kazanıp ısınmayı başaramadıkları için ışınım soğur. Kütleçekimsel alan ne kadar güçlüyse bu etkiler de o kadar belirgin hale gelir.

1967'de Amerikalı astronom Rainer Sachs ve Arthur Wolfe, yoğunluğu fazla olan bir alandan geçen CMB fotonlarının, nasıl olup da enerjilerini artırarak sıcak bölgeler oluşturduklarını açıklamak için kuramı uygulamaya geçirdi. Aşırı yoğun bölgeye giren foton, kütleçekimsel alana düşerek enerji kazanır. Ancak bu gerçekleşirken, evren az da olsa genişlediği için aşırı yoğun bölge de esner ve kütleçekimi azalır. Böylelikle foton diğer tarafa tırmanıp vardığında, alana düşerken kazandığından daha az enerji kaybetmiş olur. Bu durum, fotonun enerjisindeki net kazancın fotonu daha sıcak hale getirdiği anlamına gelir. Benzer şekilde az yoğun bölgeler de benzer süreçlerin ardından CMB'de soğuk bölgeler oluşturur.

Gökyüzünde yaklaşık 10 dereceye eş veya daha büyük alanlardaki CMB sıcaklık dalgalanmalarının ana nedeni Sachs-Wolfe etkisidir. Kozmik uzaklıkları gökyüzünü oluşturan küre üzerinde açılar olarak düşünebildiğimizi hatırlayın (bkz. beşinci bölüm). CMB'de on derecenin asıl uzunluğu 3 milyon ışık yılı civarındadır. Bundan büyük mesafelerde kütleçekimin çok hafif bir etkisi vardır. Ancak daha küçük ölçeklerde sıcaklık dalgalanmaları yedinci bölümde karşılaştığımız akustik salınımlar ve CMB fotonlarıyla yüklü parçacıklar arasında gerçekleşen elektromanyetik etkileşimler gibi, diğer fiziksel süreçlerle de şekillenebilir.

Ortaya çıkan CMB sıcaklık dalgalanmaları ya da daha teknik bir terim kullanmak istersek *anizotropiler*[1] 1992 yılında COBE uydusunu kullanan bilim insanları tarafından keşfedildi. COBE'nin çözünürlüğü ancak çok büyük ölçeklerdeki anizotropileri göstermeye yetecek kadardı. Fakat 2006'da WMAP uzay sondası ve sonra 2013 yılında ESA'nın Planck sondası sayesinde çözünürlük arttı ve gitgide daha ince detaylar görülebilir hale geldi. Sonuçlar, CMB'deki sıcaklık değişikliklerinin büyüklüklerinin ve yapısının, Hawking'in öne sürdüğü gibi (her ne kadar hesaplamaları bugüne dek başkaları tarafından iyileştirilmiş olsa da) enflasyon süresince oluşmuş kuantum dalgalanmalardan ortaya çıktığı görüşüyle uyum içindeydi.

Bu yoğunluk düzensizliklerinin gökadalar, kümeler ve süperkümelere dönüşümü kütleçekimsel çöküşle gerçekleşti. Enflasyon süresince oluşan madde yoğunluğundaki ufak artışlar, kütleçekimsel çekim sayesinde daha fazla maddeyi üzerine çekerek daha da yoğun hale geldi ve hatta böylece daha da fazla maddeyi çekti ve bu şekilde kendi kendini güçlendirerek ilerledi.



Aynı bölgedeki mikrodalga arka plan ışınımının COBE, WMAP ve Planck uzay araçlarıyla elde edilen görüntüleri sırasıyla 7 derece, 0,2 derece ve 0,08 derecelik açısal çözünürlükte.

1 Anisotropies. (ç.n.)

İlk yapılar, saf karanlık maddeden oluşacaktı. Küçük rahat Dünya'mızı oluşturan sıradan maddenin atom ve molekülleri, birbirleriyle akıl almaz farklı şekillerde etkileşirler. Elektromanyetik kuvveti hissederler. Ve ısısal olarak etkileşirler; birbirlerine çarparak ısınır, kütleçekimin içe çekişine karşılık verecek şekilde davranan ters basıncı meydana getirirler. Diğer taraftan, soğuk karanlık maddenin çökmeye karşı hiçbir direnci yoktur. Hem kendisiyle hem de diğer maddelerle tek etkileşimi kütleçekim kuvveti üzerinden olur, bu nedenle hiçbir engele takılmadan enflasyonun tomurcuklandırdığı kütleçekimsel kuyulara düşer ve diğer tüm ağır şeyleri de peşi sıra çeker.

Oluşan ilk yapılar, Sloan Seddi (bkz. 182. sayfa) gibi muazzam madde tabakalarıydı. Aslında bunların varlıkları, 1970 yılında Rus astrofizikçi Yakov Borisovich Zel'dovich, gaz ya da karanlık maddeden oluşan üç boyutlu bir bulut çökerken, kendi deyişiyle bir "bazlamaya" benzer şekilde, kısa ekseni üzerine yığılma eğiliminde olduğunu gösterdiğinde öngörülmüştü. İki bazlamanın kesiştiği yerde uzun çizgi benzeri ipliksiler oluşuyordu. Buralardaki yoğunluğun bazlamanın içine göre biraz daha fazla olması nedeniyle, kütleçekimin etkisiyle daha da büyüyorlardı. İpliksilerin kesiştiği yerde yoğunluğun daha da fazla olduğu düğümler oluşuyordu. Tüm bunlar, evrenin bir ile iki yüz milyon yıl yaşı arasında gerçekleşmişti. Evrenin bugünkü yaşının 13,8 milyar yıl olduğunu hatırlarsanız, tüm bunların evren aslında ancak bir bebekken meydana geldiğini düşünebilirsiniz.

Beşinci bölümde gördüğümüz gibi duvarlar ve ipliksiler arasında küçük yapılar oluşmasının iki farklı yolu var: Önce büyük yapıların oluşup sonra küçük yapıların bölümlendiği "tepeden aşağı"[1] veya önce görece küçük yapıların oluşup sonra bunların kütleçekim altında bir araya gelerek daha büyük şeyleri oluştur-

1 Top-down. (ç.n.)

dukları "dipten yukarı".[1] Astronomik gözlemler çok uzak gökadaların oluşumunun kesinlikle tepeden aşağı doğru olmadığını, ancak evrenin tasvirinde dipten yukarı oluşumun en uygun geldiğini öne sürmektedir.

Düşük enerjili "soğuk" karanlık maddenin alternatifi olan yüksek enerjili "sıcak" karanlık maddeye tercih edilme nedeni de kısmen burada yatıyor. Sıcak karanlık maddenin korkutucu hızı küçük ölçekli yoğunluk dalgalanmalarını silip süpüreceği için, yapıların tepeden aşağı doğru ilerleyen senaryoya göre oluşması gerekirdi.

Oluşan ilk cisimler serbest uzaydaki bir miktar yıldızdı ve herhangi bir gökadaya ilintili değilerdi çünkü henüz gökadalar yoktu! Astronomlar bunları Öbek III[2] yıldızları olarak adlandırıyor. (Öte yandan bizim Güneş'imiz gibi çok genç Öbek I yıldızları sarmal gökadaların disklerinde yer alır. Öbek II yıldızları küresel kümelerde bulunan yaşlı yıldızlardır. Öbek III yıldızları en yaşlılarıdır.) 2018'in başlarında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) ve Arizona Eyalet Üniversitesi'ndeki astronomlar Avusturalya Çölü'nün batısında yer alan bir radyo antenini kullanarak, evren henüz 180 milyon yıl yaşındayken oluşmuş ilk Öbek III yıldızlarını algılamayı başardılar.

Yüksek kütleli ve parlak genç yıldızlar, bol miktarda frekansı görünür ışıktan biraz yüksek olan bir elektromanyetik ışınım olan morötesi ışınım salarlar. Yıldızları uzayda çevreleyen hidrojen gazı bu ışınımı emer ve sıcaklığı yükselir. Bu soğurmaya neden olan elektron geçişi normalde aşırı derecede nadir gerçekleşir. Atomlar ışınımı soğurduklarında elektronlarının daha yüksek enerji seviyesine atladığını hatırlayın (bkz. altıncı bölüm). Ancak hidrojenin yeni doğmuş yıldızlardan salınan UV ışınımla ısınmasıyla oluşan

1 Bottom-up. (ç.n.)
2 Population III. (ç.n.)

geçiş çok daha yaygındır; CMB sinyalinde bu frekansta bir düşüş oluşturur ve bu da daha sonra uzayın genişlemesiyle kırmızıya kayar. Astronomlar bu düşüşü bulup bugünkü gerçek frekansını ölçerek, tam olarak ne kadar kırmızıya kaydığını ve böylelikle de Büyük Patlama'dan ne kadar sonra oluştuğunu söyleyebilirler. Ekibin bulduğu değer beklenenden düşük bir frekansta çıktı; yani tahmin edildiğinden çok daha önce, evrenin henüz 180 milyon yıl yaşına denk geldiği bir zamanda oluşmuştu.

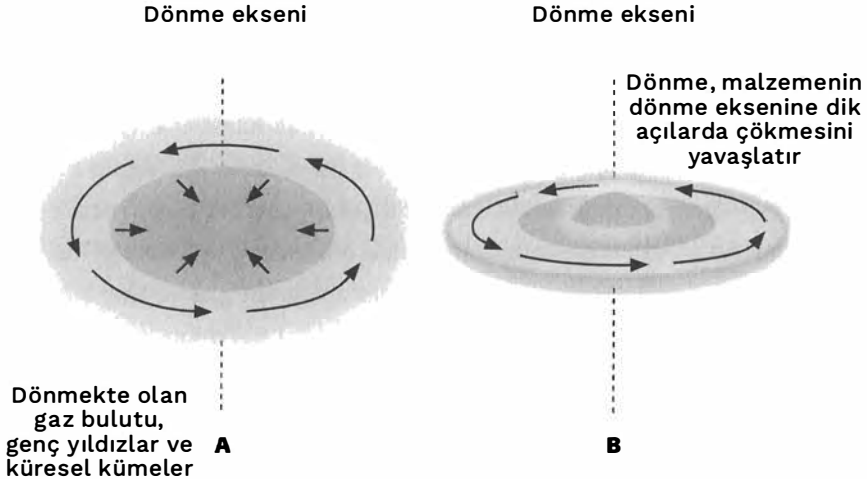
Ancak işin esrarı ortadan kalkmış değil. Söz konusu çöküntü astronomların beklediğinden çok daha derindi. Hidrojen gazının CMB'den daha fazla enerji soğurabilmesi için, o zamanlarda evrendeki sıcaklığının önceden düşünüldüğününden de soğuk olması gerekirdi. Bunu Büyük Patlama kozmolojisinin mevcut haline uydurmak oldukça zor. İlgi çekici olasılıklardan biri olan hidrojenin bir şekilde karanlık maddeye enerji sızdırmış olabileceği, Tel Aviv Üniversitesi'nden Rennan Barkana tarafından öne sürülmüştü. Bu fikir eğer doğruysa madde ile karanlık madde arasında bilinen ilk kütleçekimsel olmayan etkileşim olacaktı ve evrenin bu gizemli olduğu kadar hayati bileşeni üzerinde yapılacak çalışmalar yepyeni bir pencere açma potansiyeline sahipti. Bunu takip eden bir yığın deney şimdi bu keşfi daha da derin bir şekilde incelemektedir.

Oluşan ilk yıldızlar yüz binlerce yıldız içeren ve genellikle çapı onlarca ışık yılı olan *küresel kümeler*di.[1] Günümüzde gözlemlenen küresel kümeler genellikle gökadaların dış halesinde bulunurlar. Örneğin Samanyolu etrafında, yörüngede dolanan 150'den fazla küresel küme olduğu bilinmektedir. En eski yıldız kümeleri olarak, gördüğümüz en eski ve kimyasal olarak çok ilkel yıldızlara ev sahipliği yapıyor olmaları pek de şaşırtıcı sayılmaz. Yıldızlar iç kısımlarında kademeli olarak daha ağır elementler üretirler ancak

1 Globular clusters. (ç.n.)

ilk birkaç nesil neredeyse tamamıyla Büyük Patlama'da oluşmuş temel hidrojen ve helyumdan oluşmaktadır.

Karanlık madde, gaz bulutları ve ilk yıldızlar gibi küresel kümeler de kendi kütleçekimleri altında çökerek birleşmişlerdir. Genellikle çökmekte olan bir madde bulutu da bir miktar dönmektedir ve tıpkı kendi etrafında dönen bir buz patencisinin kollarını kendine çektiğinde dönüşünün hızlanması gibi, kütleçekim etkisiyle madde bulutu büzüldükçe bu dönüş de hızlanır. Dönmenin artmasıyla merkezkaç etkisi meydana gelir. Tıpkı kurutma makinesindeki merkezkaç etkisiyle kıyafetlerinizin tambura yapışmasına benzer şekilde, burada da merkezkaç etkisi buluttaki dönen maddenin yığılmasına engel olur. Dönmeye dik açıda herhangi bir merkezkaç kuvveti olmadığı için bulut o eksende yığılır. Böylelikle yassı ve dönen bir disk halini alan malzeme, sarmal bir gökada oluşturmuş olur.



Dönen malzeme bulutu, dönme eksenine paralel şekilde yığılarak dönen bir disk olan sarmal gökadayı oluşturur.

Gökadalar kendiliklerinden çöküp birleşirken, kimi zaman yeni sarmal gökadalar, kimi zaman da kütleçekiminin çarpışan iki gökadadaki maddeyi belirgin yay ve yumrular halinde yayması sonucunda, garip şekilli "düzensiz" gökadalar oluşturdular. Kafa kafaya bir çarpışma gerçekleştiğinde ortaya çıkan gökadada sarmal yapı tamamen bozulup yerine hiçbir özelliği olmayan, eliptik yıldızlar topluluğu şeklinde yeni bir gökada oluşur. Bu eliptik gökadalar bugünkü evrende o kadar yaygın ki, süperkümemizin civarında görülen gökadaların neredeyse %15'ini oluştururlar.

Ancak çoğu uzak sarmal gökadanın oluşum yılları daha da etkileyicidir. Büyük Patlama'dan sadece birkaç milyar yıl sonraki görüntülerine göre bu gökadalar, bizim sarmal gökadamızın ışık enerjisinin binlerce katını saçacak kadar şiddetli parlaklıktadır. Bu aşırı parlak gökadalar o kadar uzaktadır ki gökadaların alıştığımız puslu ve yaygın görüntüsündense bir yıldız kalıntısına benzer şekilde, nokta gibi görünürler ve yıldız benzeri cisim[1] anlamına gelen kuazar[2] terimiyle adlandırılırlar (bkz. 112. sayfa).

Kuazarların böylesine parlak olmasının nedeni, merkezlerinde yer alan devasa karadeliklerdir. Bir yıldızın ölümünden geriye kalan onlarca güneş kütlesindeki düşük kütleli karadeliklerin aksine, bir kuazarın merkezinde yer alan aşırı kütleli karadelik, Güneş'in kütlesinin milyarlarca katında olabilir. Bu cisimlerin şiddetli kütleçekimlerinin gökadadaki maddeyi çekip üzerine düşürmesinin ardından gökada, muazzam miktarda kütleçekimsel enerjiyi ışık şeklinde püskürterek kaybeder. Gökadayı saran gaz ve toz, karadeliğe düştüğünde kütleçekimsel kuvvetler tarafından sıkıştırılır ve karadeliğin ekvatoru etrafında durmadan sarmallar çizerek enerji yayan aşırı sıcak bir malzeme diski oluşturur. Tüm bunlar, karadeliğin dış yüzeyi olan olay ufkunda gerçekleştiği için salınan

1 Quasi-stella object. (ç.n.)
2 Quasar. Yıldız veya yıdızımsı olarak da adlandırılırlar. (ç.n.)

ışınım, karadeliğin kütleçekimi tarafından yakalanmadan serbestçe kaçabilir. Sıradan bir kuazarın enerji çıkışını sürdürebilmesi için yılda yaklaşık on güneş kütlesi harcamaya ihtiyacı vardır.

Aşırı kütleli karadeliklerin kökeni anlaşılabilmiş değildir. En uzak kuazarların, evren henüz birkaç yüz milyon yıl yaşındayken görülmüş olması, devasa karadelik çekirdeklerinin Büyük Patlama'dan kısa bir zaman sonra oluştuğu anlamına gelir. Kuramlardan birinin, karadeliklerin yüksek kütleli Öbek III yıldızlarının süpernova patlamasıyla öldükleri zaman oluştuğuna dair gözlemsel kanıtı var gibi duruyor. Ağır sikletli yıldızlar hızlı yaşayıp genç ölme eğilimindedir. Onlarca Güneş kütlesinde oldukları düşünülen Öbek III türü yıldızlar doğduktan birkaç milyon yıl sonra süpernova patlaması geçirdiklerinde, ortamdaki maddenin bolluğundan istifade ederek, arkalarında kütleçekimsel olarak büyüyecek karadelik artıkları bırakırlar.

Samanyolu dahil günümüz gökadalarının da merkezlerinde aşırı kütleli karadelikler barındırdıklarına inanılması, bunların belki de bir zamanlar çekirdeklerindeki madde bittiği için enerji kaynağı kesilmiş kuazarlar oldukları iddiasına yol açtı.[1] Aslında, yıldızlar merkezdeki karadeliğin etrafında basit bir yörüngede dolandıkları için enerjilerini kaybedip karadeliğe düşmelerine neden olacak bir süreç bulunmadığından, kendi başlarına bir kuazarı beslemek için yeterli değildirler. Öte yandan gaz ve toz bu iş için mükemmeldir. Parçacıkları birbirlerine sürtünerek ısındıkları için bambaşka bir davranış sergilerler. Bu ısının yayılmasıyla enerji kaybedip karadeliğe düşebilirler. Ancak gökada merkezindeki tüm gaz ve toz tükendiğinde, bu bir zamanlar pek heybetli olan kuazar yeniden sessizliğe bürünür. Bu, Samanyolu ve kozmik komşuluğu-

1 Eylül 2022 itibarıyla Olay Ufku Teleskobu (Event Horizon Telescope) ekibinin yaptığı çalışmalar sayesinde iki karadelik görüntüsü elde edilmiş durumda. Bunların ilki Başak kümesindeki sekiz gökadadan biri olan M89 gökadasının merkezinde, diğeri ise kendi gökadamız olan Samanyolu'nun merkezinde. (ç.n.)

muzdaki diğer birçok sarmal gökada için de geçerli olabilir.

Gökadaların ötesinde, milyonlarca ışık yılı ölçeğinde maddenin bu hiyerarşik çöküşü devam etti. Gökadalar ve küresel yıldız kümeleri, ilk grupları ve gökada kümelerini oluşturmak üzere bir araya geldiler. Ve zamanla bunlar da kâinatın bugünkü temel altyapısını ortaya koyan devasa süperkümeleri oluşturmak üzere birleştiler.

İşte astronomların bugün teleskoptan baktıklarında gördükleri evren az çok böyle bir şey.

ONUNCU BÖLÜM

Hiç Yoktan

"Başlangıçta hiçlik patladı!"

Terry Pratchett

Astronomik gözlemlerin, Büyük Patlama'nın varlığını nasıl yorumladığını gördük. Bilim insanlarının, evrenin 13,8 milyar yıllık geçmişini açıklamak için nasıl da hünerli kuramlar ürettiklerini de gördük. Ancak bir soru hâlâ duruyor: Büyük Patlama nereden çıktı? Evet, en azından genel göreliliğin sunduğu çerçeveden bakınca tüm olan biten, sonsuz yoğun bir tekillikten gelmişti. Ve bu tekillik, bugün bildiğimiz ve sevdiğimiz evreni oluşturmaya devam eden parçacıkları, radyasyon fotonlarını ve uzay-zamanın kendi dokusunu dışarı atarak patladı. Peki bu tekillik nereden gelmişti? Ve onu patlamaya teşvik eden şey neydi?

Evrenin, kelimenin tam anlamıyla hiçlikten ortaya çıkmış olduğu açıklaması, en zarif ve muhtemelen kozmologlar arasında en çok ilgi çeken açıklamaydı. Hiçlik derken, gerçekten de hiçbir şeyin olmamasını kastediyorum. Eğer bir hafta boyunca mutfak alışverişi yapmayı ihmal edersem buzdolabında hiçbir şey kalmaz, ama buzdolabı hâlâ mevcuttur; buzdolabının içi boş olsa bile kendisi hâlâ vardır ve buzdolabının geçmişi, bugünü ve geleceğini mantıksal bir neden sonuç ilişkisi içerisinde bir arada tutan zaman da

vardır. Öte yandan Büyük Patlama'nın öncesindeki durum hiçbir madde, enerji, uzay ya da zaman içermiyordu. Sadece *hiçlik* vardı.

Evrenimizin böylesi ıssız bir başlangıçtan ortaya çıkması gayet mümkün. Sadece evrenin var olduğuna, evrenin her şeyin tamamı olduğuna ve ötesinde başka bir şey olmadığına inanırsak, hiç yoktan var olması gayet mantıklıdır. Ne de olsa içinde sudan başka hiçbir şeyin olmadığı, hakikaten sadece su dolu bir cezvede fokurdayan baloncukları oluşturan da büyük ihtimalle... sudur.

Bu, aynı zamanda evrendeki toplam enerjinin sıfır olması gerektiği anlamına da gelir. Çünkü fizikte temel ilkelerden biri olan enerjinin korunumu yasası, madde ve enerjinin (hatırlarsanız Einstein sayesinde bu ikisinin aynı olduğunu biliyoruz artık; bkz. ikinci bölüm) ne yaratılabilir ne de yok edilebilir olduğunu söyler. Diğer bir deyişle her girenin çıkması gerekir: Eğer evren hiçlikten oluştuysa, tüm bileşenlerinin madde ve enerjisinin toplamı, bugün hâlâ kesin ve net olarak sıfır olmalıdır.

Atomaltı parçacıkların birden var olup sonra yeniden kayboldukları süreyi toplam enerjileriyle birleştirince, Heisenberg'ün belirsizlik ilkesini sağladığını görmüştük (bkz. ikinci bölüm). Bu ilkeye göre, parçacıkların enerjisi ne kadar büyük olursa, yeniden birleşip yok olmadan önceki varoluş süreleri de o kadar kısa olur. Bu nedenle evrendeki tüm maddeyi oluşturmak için gereken enerji miktarı ödünç alınacak olsa bu, evrenin neredeyse oluşur oluşmaz yeniden kaybolmasıyla sonuçlanır. Ancak evrenin toplam enerjisi sıfır olabilseydi, bu bambaşka bir hikâye olurdu. Eğer hiç enerji ödünç alınması söz konusu olmazsa, o zaman teorik olarak evren hiçlikten var olup sonsuza dek varlığını sürdürebilir.

Bunun aslında mümkün olduğunu ilk fark eden kişilerden biri, 1940'lı yıllarda, Albert Einstein'dı. Hikâyeye göre Einstein, mikrodalga arka planı ve ilkel nükleosentez kuramlarıyla ün salmış arkadaşı ve meslektaşı George Gamow'la New Jersey, Princeton'da yürüyüşe çıkmıştı. Gamow, meslektaşlarından biri olan Alman fi-

zikçi Pascual Jordan'ın, kütle enerjisinin kütleçekimsel enerjisiyle dengelenmesi sayesinde aslında bir yıldızı nasıl da hiç yoktan var etmenin mümkün olduğunu hesapladığını anlatıyormuş.

Bir yıldızın ya da herhangi bir cismin kütleçekimsel enerjisi, onu oluşturan parçacıkların sonsuz uzaklıklara dağılmış oldukları varsayıldığında, bunları bir araya getirmek için gerekli olan enerjidir. Aslında negatiftir. Bunun nedeni, yıldızı oluşturmak için gereken enerjinin onu yeniden parçalarına ayırmak için, yani bileşen parçacıklarının hepsini birbirinden sonsuz uzak mesafelere dağıtmak için gereken enerjiye eş ama zıt olmasıdır. Ve bir yıldızı dağıtmak için gerekli enerji apaçık pozitiftir; dünyadaki uzay ajanslarının da sık sık gösterdiği gibi, bir kütleçekimsel alandan çıkabilmek için, roket yakıtı formunda da olsa kayda değer miktarda enerji gerekir. Jordan bu kütleçekimsel enerjinin mutlaka negatif değil, yıldızın kütle enerjisine eş büyüklükte de olabileceğini ve böylelikle bakiyede yıldızın toplam enerjisinin tamamıyla sıfır olacağını da göstermişti.

Einstein bunu duyduğunda, aynı mantığın evrenin geneline de uygulanabileceğini, evreni oluşturan madde ve ışınıma ait kütle ve enerji toplamının kütleçekimiyle dengelenerek toplam enerjinin sıfıra eşitlenebileceğini fark etti. Einstein olduğu yerde durdu. Gamow'la karşıdan karşıya geçmekte oldukları o sırada, bazı arabalar da onları ezmemek için durmak zorunda kalmıştı.

1970'lerin başlarında, New York Üniversitesi'ndeki fizikçi Edward Tryon bu fikri, kuantum kuramını kullanarak evreni var edenin kuantum belirsizliği olabileceğini öne sürecek şekilde, evrenin başlangıçtaki toplam enerjisini sıfır kabul edip, bunu bir yanda pozitif kütle ve enerji, diğer yanda da buna eş ama negatif kütleçekimsel enerji olmak üzere ikiye bölerek, tıpkı kuantum belirsizliğinin parçacık-antiparçacık çiftinin boş uzay vakumundaki kuantum dalgalanmalarında görülmelerine izin verişine benzer biçimde işledi (bkz. 143. sayfa).

Bu fikir daha sonra, Büyük Patlama'dan kısa zaman sonra evrenin üstel bir büyüme hamlesi yaptığını öne süren, enflasyonlu evren kuramını (bkz. sekizinci bölüm) tasarlayan kozmologlar tarafından biraz daha geliştirildi. Enflasyon kuramının fikir babası olan Alan Guth buna "bedava öğle yemeği evreni"[1] adını verdi. Bu kozmologların olaylara getirdiği yoruma göre, evren bir kuantum dalgalanması olarak hiçlikten var olmuştu ve bu da ona kendi devasa kütleçekimi altında yeniden çöküp çabucak yok olma hakkını veriyordu. Ancak burada enflasyon devreye girerek, yeniden çökmeye fırsat bulamadan evreni hızla kuantum âleminin dışına doğru genişletiyordu.

Başlangıçta evrenin kütleçekimsel enerjisi, enflasyona neden olan madde alanının enerjisiyle dengelenmişti. Ancak enflasyon sona erdiğinde bu alan, evreni dolduran bugünkü madde ve enerjiye ayrıştı. Evrenin enflasyon sonrası bu yeniden ısınması, bir bakıma gerçek Büyük Patlama olarak düşünülmeli. Kozmik geçmişte evrenin şimdiki sabit genişleme evresinin başladığı ve modern kâinatın içeriğinin işlendiği asıl nokta budur.

Ama yine de geriye bir soru kaldı. Enerjileri dengeleyip, evrenin hiçbir temel fizik ilkesini ihlal etmeksizin hiçlikten oluşmuş *olabileceğini* ispatlamak bir gelişmedir. Ne var ki yeni doğmuş evrenin nasıl olup da mutlak hiçlik denizinde var olduğunu açıklamaz. Oluşumuna yön veren kuram ve gerçek fizik kanunları nelerdi? Böylesi herhangi bir kuram bugünkü yetişkin evrenin nasıl görüneceğine dair muhakkak bir tahminde bulunacaktı. Ve bu da bilim insanlarının onu sınamasını mümkün kılacaktı.

Böylesi bir açıklama ancak kütleçekim kuvvetinin aşırı küçük ölçekli davranışlarını ve doğadaki diğer kuvvetlerle etkileşimini yöneten kuantum kütleçekim diyarında yer alabilir. Daha önce belirttiğimiz gibi, Planck döneminde evren atomaltı parçacık bo-

1 Free lunch universe. (ç.n.)

yutundaydı ve bu nedenle kütleçekim, kuantumsal kurallara uymak zorundaydı. Evrenin ilk zamanlarında kütleçekiminin aslında diğer kuvvetlerle sarmaş dolaş hali, Planck döneminin sonunda sıcaklığın yeterince düşmesiyle kütleçekimin parçalanmasından önce doğanın dört kuvvetinin toplu bir kuantumsal tanımı olan Her Şeyin Kuramı olarak biliniyor.

Ancak bu bir sorundu. Kuantum kuramı ve kütleçekimin, genel görelilikle cehennemde kıyılmış bir nikâhları varmışçasına, kütleçekime dair en iyi kuramımız bile elektromanyetizma gibi diğer kuvvetlerin bölümlenmesine imkân tanıyan tekniklerle ters düşmekte (bkz. altıncı bölüm). Sayısız yaklaşım denenmişti. Parçacıkları, titreşen enerji ilmekleri olarak ele alan sicim kuramından daha önce bahsetmiştik. Farklı parçacıklar bu atomaltı iplerde çalınan farklı "notalar" gibi düşünülebilir. Bir diğeri ise, uzay ve zamanın çok küçük ölçeklerde zincirden örülü bir zırha benzer yapıda olmasından ötürü iç içe geçen enerji ilmeklerinden oluşan *ilmekli kuantumsal kütleçekim*dir.[1]

Sicim kuramı, gerçekten işlediği takdirde kütleçekimin dört kuvvetini de tek bir çatı altında birleştiren bir çerçeve sağlayan kuantumsal bir modeldir. Bu, diğer yaklaşımların pek sunduğu bir şey değildir. Ve bu alanlarda çalışan fizikçiler, akıllılık ederek koşmadan önce yürümeyi tercih etmiş, kuantumsal kütleçekimi diğer kuvvetlerle birleştirmeye çalışmadan önce kuantumsal kütleçekimin kendisine odaklanmışlardır.

Özellikle evrenin ilk anlarını açıklama konusuda umut vaat eden böylesi fikirlerden biri, *kuantumsal kozmoloji*[2] olarak bilinir. 1960'ların sonlarında, ABD'li kuramsal fizikçi John Archibald Wheeler ve Bryse DeWitt tarafından geliştirilmiştir. Sadece atomaltı parçacıkları değil, tüm evreni tanımlayan bir Schrödinger

1 Loop quantum gravity. (ç.n.)
2 Quantum cosmology. (ç.n.)

denklemi (bkz. altıncı bölüm) oluşturmayı başarmışlardır. Doğanın diğer kuvvetlerinin kuantumsal tanımlarına benzer şekilde kuantumsal kütleçekim de mutlak belirleyici öngörüler yerine olasılıklarla ilgilenen rasgelelik tarafından yönetilir. Çözümü bir dalga fonksiyonu olan Wheeler ve DeWitt'in denklemi, bir parçacığın dalga fonksiyonuna benzer ancak uzay ve zamanın eğriliğiyle tanımlanan evrenin kütleçekimsel alan durumuna ilişkin olasılıkları verir.

Maddenin basit bir atomaltı parçacığı için, dalga tepelerinin parçacığın bulunması en olası yerleri göstermesi sayesinde dalga fonksiyonu parçacığın uzaydaki konumunu tanımlayabilir. Bu yeterince basittir. Ancak tek bir parçacık yerine tüm evrenle ilgilendiğinizde dalga fonksiyonu bir anda akıl almaz derece karmaşıklaşır. Bu nedenle kozmologlar ürettikleri modelleri takip edebilmek için basitleştirici bir varsayımda bulunurlar. *Mini-süperuzay yaklaşımı*[1] olarak bilinen bu varsayımda, dalga fonksiyonu miktarını evrenin büyüklüğü ve baskın madde biçimi ya da evreni dolduran enerji gibi temel özellikleri tanımlamaya yetecek miktarda kısıtlarlar. Genel görelilik kuantum kuramıyla birleştiğinde en genel haliyle sonsuzluğa sapan cevaplar verir. Ancak Wheeler ve DeWitt'in homojen ve eşyönlü[2] evrende Einstein'ın denklemleri için buldukları çözümler, mini-süperuzay yaklaşımı altında hiç böyle sorunlarla karşılaşmaksızın kuantize olabiliyor ve makul cevaplar verebiliyordu.

Kuramdaki olasılıklar, ABD'li fizikçi Richard Feynman'ın, elektromanyetizmanın kuantum kuramı için türettiği *yol integrali yaklaşımı*[3] olarak bilinen yöntemlerin kullanılmasıyla hesaplandı. Evrenin bir evreden diğerine geçişini tanımlayan mini-süperuzay olasılığını hesaplamak istiyorsanız, mümkün olan her

1 Mini-superspace approximation. (ç.n.)
2 Isotropic. (ç.n.)
3 Path integral approach. (ç.n.)

farklı şekil için olasılıkları hesaplayıp bunları toplamanız gerekir. Altı yüzlü bir çift zar attığınızda gelen toplamın, örneğin 7 olma olasılığını bilmek istemek gibi bir şeydir bu. Her birinin olasılığı 1/36 (1/(6x6)) olan birçok şekilde gerçekleşebilir. Zarların birincisinde 1 ikincisinde 6, birincisinde 2 ikincisinde 5, birincisinde 3 ikincisinde 4 gelebilir ve sonra tüm bu olasılıklar zarlardaki sayılar tersine dönerek tekrarlanabilir, yani birincide 6 ikincide 1, birincide 5 ikincide 2, birincide 4 ikincide 3. Bu altı olası şekilde de zarların toplamı 7 eder ve her birinin olasılığı 1/36 olduğu için toplam olasılık 1/6'dır (6/36'yı sadeleştirdik). Bunu, örneğin 12 gelme olasılığıyla kıyaslayacak olursak, tek seçeneğin her iki zarın da 6 gelmesi olması nedeniyle, olasılık 1/36'dır. Aynı şekilde kuantum kozmolojide mini-süperuzayın ilk evreden son evreye evrimleşme olasılığı, bu iki durumu birbirine bağlayan tüm yolların olasılıklarının toplanmasıyla hesaplanabilir.

Sorun şu ki, sıra evrenin doğumuna geldiğinde, kimse başlangıç evresinin nasıl bir şey olduğundan emin değildi. Son evre, evrenin Planck döneminin sonunda enflasyondan geçip gökadalar ve kümeleri oluşturduğu hal olduğu için onu bulmak kolaydı. Ama kimsenin başlangıç halinin nasıl göründüğüne ilişkin en ufak bir fikri dahi yoktu. 1983'te Hawking ve meslektaşı Amerikalı fizikçi James Hartle yeni bir fikirle çıkageldiler: Başlangıç hali olmadığını öne sürdüler. Buna *Sınırsız Teklif*[1] adını vermişlerdi ve Büyük Patlama'nın son ânının öncesine gittiğinizde, zamanın dördüncü uzaysal koordinata evrildiğini iddia ediyordu. Bu durumda evren, dört boyutlu bir kürenin yüzeyi gibi, uzayın kendi etrafında bükülmesiyle sınırları olmayan bir hal alıyordu. Bu da Planck döneminde yani Büyük Patlama'nın kalbinde öncesi veya sonrası diye bir kavram veya zaman olmadığı anlamına geliyordu. Zamanın bu şekilde dördüncü bir uzaysal boyuta evrilmesi, diğer kuantum

1 No boundary proposal. (ç.n.)

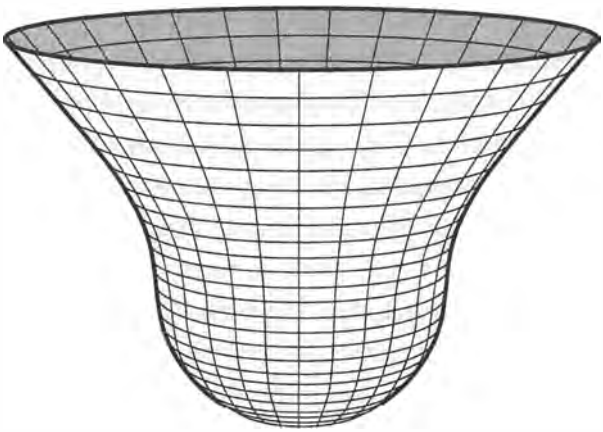
kütleçekim modellerinde olağan bir özellikti ve kozmolojik sabitten tutun da karadeliklerin fiziğini açıklama çalışmalarına kadar birçok alanda umut vaat eden uygulamaları olmuştu.

Üçüncü bölümde kuzey kutbunun kuzeyine gitmeye çalışmak ile Büyük Patlama'nın öncesinde ne olduğunu sormanın az çok aynı olduğunu söyleyerek evrenin ilk zamanları ile Dünya yüzeyi arasında bir benzetme yapmıştık. Bu benzetmeyi burada da kullanabiliriz. Zamanı enleme benzetirsek, kuzey kutbunun kuzeyinde hiçbir enlem bulunmayacaktır ve Dünya'nın yüzeyi de istediğiniz doğrultuda istediğiniz kadar gitmenize rağmen hiçbir kenara denk gelmediğiniz sınırsız uzay için harika bir örnek oluşturacaktır (gerçi bu dört değil iki boyutlu ama bunun sakıncası yok).

Hartle-Hawking başlangıç durumunun fiziksel yorumu, tıpkı Einstein ve Tryon'ın öne sürdüğü gibi evrenin hiçlikten oluştuğunu söylüyordu. Burada "hiçlik" gerçekten de Planck dönemi öncesinde hiçbir şeyin, uzayın ya da zamanın olmadığı gerçeğini ifade ediyordu, tıpkı Dünya'nın +90 enleminin kuzeyinde hiçbir şeyin olmaması gibi.

Hartle-Hawking durumundan ortaya çıkan evren, yoğunluğu uzak gelecekte nihayetinde yeniden çökmesi için gerekli kritik değeri aştığı için aslında kapalı bir evrendir.

Gördüğümüz gibi bu, evrenin sonlu yapıda ve herhangi bir küre yüzeyi gibi sınırlarının olmadığı anlamına geliyor. Aksine, kozmik mikrodalga arka plan ışınımıyla yapılan araştırmalar öngörüyor ki evrenimiz neredeyse kritik yoğunlukta, yani uzay düz ve sonsuz ve bu da sonsuza dek genişlemeye devam edeceği anlamına geliyor. Ama bunda bir sorun yok. Kozmolojik enflasyonun yaptığı şeylerden biri de evreni herhangi bir eğrilikten alıp dilediğinizce düz görünmesini sağlamak; tıpkı Dünya bizden katbekat büyük olduğu için yüzeyinin bize düz görünmesi gibi. İşte bu sekizinci bölümde incelediğimiz düzlük sorununun çözümünün ta kendisi.



Evrenin Hartle-Hawking başlangıç durumu. Koniğin zamanı temsil eden dış hatları, Büyük Patlama'da (görselin alt kısımında) fazladan bir uzay boyutu gibi kendi etrafında yumuşakça bükülüyor. Bunun sonucunda evrenin zamanda herhangi bir başlangıç sınırı bulunmuyor, yani kuram doğruysa bu, evrenin hiçlikten ortaya çıkmış olduğu anlamına geliyor.

Hartle ve Hawking'in modeli sadece bir kuram, ancak kütleçekimsel alanın, kuantumsal yaklaşım altında evrenin nasıl olup da hiçlikten var olduğunu açıklayabilecek güce sahip olduğunu gösterdi. O zamandan beri, hem kuantum kozmolojisi çerçevesinde hem de sicim teorisi gibi önerilen diğer kuantum kütleçekimi yaklaşımlarını kullanarak başka teoriler ortaya atıldı.

Hawking, ölmeden önceki son çalışması olacak olan ve sicim kuramını temel alan alternatif bir model daha inceledi. Hawking, Belçikalı fizikçi Thomas Hertog'la çalışırken sicim kuramının, uzayda üç boyutlu herhangi bir hacim içeriğinin, uzayın sınırlarının iki boyutlu yüzeyde oluşturulmasıyla kodlanabileceğini söyleyen ve *holografik ilke*[1] olarak bilinen bir unsurunu, evrenin nasıl başladığına ilişkin yeni bir kuram öne sürmek için kullandı. Bu

1 Holographic principle. (ç.n.)

ilke, kısmen Hawking'in karadeliğin entropisinin, yani kendisiyle ilişkilendirilmiş olan karmaşıklık derecesinin (bkz. üçüncü bölüm) karadeliğin hacmiyle değil, dış yüzey alanı, yani olay ufkuyla orantılı olarak arttığını bulduğu, karadeliklerin fiziğine dair eski bir çalışmasından esinlenmişti. Hawking ve Hertog böylesi holografik bir sınırın, evrenin doğduğu başlangıç halini oluşturabileceğini fark ettiler.

Hartle ve Hawking'in önceki sınırsız modeli, genel göreliliği temel alarak kuantum ilkelerinin evrenin mini-süperuzay tanımına uygulanışıydı. Bu basitleştirilmiş düzen, genel göreliliği kuantum dünyasına sokmaya çalışan diğer denemelere musallat olan dertlerden mustarip değil gibi görünüyordu. Yine de Hawking ve Hertog, kuantumla uyuşamayan genel göreliliğe bağlı kalmayı bir zayıflık olarak görüyorlardı. Bunun yerine yeni holografik modelde, evrenin evrimini başlangıç halinden uzak bir şekilde gösterebilmek için kütleçekime kuantumsal bir yaklaşım olan sicim kuramını kullandılar ve araştırmacılar da bunu çok daha güvenilir bir yaklaşım olarak kabul ettiler. Ancak Mayıs 2018'de *Journal of High Energy Physics*'te yayımlanan, evrenin hiçlikten doğuşunun holografik tanımı olan bu modelin kendinden öncekilerle aynı derece uzun ömürlü olup olmayacağını henüz bilmiyoruz.

Planck dönemindeki evren, kaotik bir girdaptır, kuantum rasgeleliğinin yarattığı kaynayan bir cezve suyun yüzeyine benzer, köpüklü bir yapıda kıvrak bir uzay ve zaman kütlesi olabilirdi. Evrenin bu kaotik hali tam olarak sonsuz enflasyonun başlangıç noktası olarak görev yapacaktı (bkz. sekizinci bölüm). Kuramdaki rasgele kuantum dalgalanmaları, enflasyonun başlangıcı için uygun koşulların bir yerlerde mutlaka mevcut olacağı anlamına geliyordu. Enflasyon, uzayın katlanan bir hızla genişlemesine neden olduğu için bu bölgeler kısa zamanda evrende baskın hale gelecekti.

Bazı bölgelerde enflasyon nihayet sona erecek ve yeniden ısı-

narak tıpkı bugün içinde bulunduğumuz evren gibi daha sakin bir genişlemeye erişecektir. Evrenin kalanı, gerçekten de aşırı büyük bir miktarı şişmeye devam eder ve bugün de hâlâ şişmektedir. Enflasyonun devamı için tek gerekenin ufacık bir uzay zerreciği olması ve o bölgenin hızla evrenin hacmine hâkim gelmesi, bu sürecin sonsuza kadar devam etmesi gerektiği anlamına gelir. İşte sonsuz enflasyon diye buna denir.

Hertog sonsuz enflasyon sırasında oluşan kütleçekimsel dalgaları arayarak holografik modelin test edilmesinin mümkün olduğunu iddia ediyor. Tıpkı enflasyonun madde yoğunluğundaki ufak kuantum dalgalanmaları güçlendirerek daha sonra evrendeki büyük ölçekli yapıların büyüyeceği çekirdekleri oluşturması gibi, şimdi uzay ve zamanda halkalanma halinde varlığını sürdürmesi gereken uzayın eğriliğindeki kütleçekimsel dalgalanmaları da güçlendirmektedir: İkinci bölümde karşılaştığımız ve 2014'te yer tabanlı dedektörlerle keşfedilen kütleçekimsel dalgalar gibi. Hawking ve Hertog makalelerinde, holografik modelin sonsuz enflasyondan oluşabilecek olası evrenlerin menzilini kısıtladığını hesapladılar. Bunun sınırsız teklife kıyasla ölçülebilecek kadar belirgin kütleçekimsel dalga belirteci üretmesi gerekir. Enflasyonla üretilen kütçekimsel dalgalar, yer tabanlı dedektörlerle algılanabilmek için fazla büyük ancak gelecekte uzay tabanlı kütleçekimsel dalga gözlemevleri bu görevi gerçekleştirebilir. Evrene bakışımızda bir devrim yaratma vaadi veren kütleçekimsel dalga astronomisine on dördüncü bölümde daha detaylı olarak değineceğiz.

Eğer evrenin büyük kısmı sonsuz enflasyonun öngördüğü gibi bugün hâlâ genişlemekte ise, gözlemlenebilir kâinatımızdan çok çok uzak bir uzayda, tam da şu anda enflasyonun sona erdiği bölgeler de olacaktır. Bunu bir hazmedelim. Şimdi siz bunu okurken, orada bir yerde, hayal edilemeyecek kadar uzakta yeni evrenler doğuyor. Rus-Amerikan enflasyonel kozmolog Andrei Linde, sürecin durmaksızın büyüyen, çok çok engin ve genişlemekte olan

bölgeleri aralayan, gözlemlenebilir çevremize benzer uzay parçaları bulunan, kozmik ağaca benzer bir yapı meydana getirdiğini hayal ediyor ve buna *kendiliğinden çoğalan ebedi enflasyonlu evren*[1] adını veriyor.

Evrenimizin birçok benzerinin olduğu ve paralel diyarlardan oluşan çoklu evrende büyüyen bir nokta olması ihtimali sarsıcı bir düşünce. Bir sonraki bölümde göreceğimiz kuramın, evrenimizin neden bulunduğu şekilde olduğunu açıklayan ve neden bizim oturup tüm bunları dert ettiğimize dair merak uyandırıcı düşünceleri var.

1 Eternally existing self-reproducing inflationary universe. (ç.n.)

ON BİRİNCİ BÖLÜM

Paralel Dünyalar

"Bu evrenin kötü olduğunu düşünüyorsanız siz bir de diğerlerini görün!"

PHILIP K. DICK

Şimdiye kadar, sizi var olan her şeyin evrenimizden ibaret olduğuna ikna etmeye çalıştım. Teleskopla gökyüzünde görebildiklerimizin ve aşina olduğumuz uzay ve zamanın dört boyutunun ötesinde herhangi bir şeyin var olabilme olasılığından tamamıyla sakındım. Ve gördüğümüz gibi bu, Büyük Patlama'da sıklıkla karşılaşılan bazı yanlış anlamaları gayet doğal bir şekilde açıkladığı gibi, evrenimizin başlangıçta nereden geldiğini açıklayan ipuçları da sunmakta.

Ancak yine de bu muhafazakâr bakış açısının temelden yanlış olduğuna inanan fizikçi ve kozmologların sayısı gün geçtikçe artıyor. Bu araştırmacılar evrenimizin kendisine benzer daha birçoklarının olduğuna ve hatta belki de bunların bir araya gelerek çoklu evren[1] adı verilen uçsuz bucaksız bir kâinat örgüsü oluşturduklarına inanmakta. Şahsen ben bu çoklu evren içinde yaşadığımıza dair görüşleri oldukça ikna edici buluyorum ama tabii ki buna kendiniz karar vermelisiniz.

1 Multiverse. (ç.n.)

Çoklu evren eğer gerçekten varsa bizimkinden oldukça farklı evrenleri de barındıracaktır. Gökyüzünün bambaşka yıldızlar ve takımyıldızlarla yeniden şekillendiği evrenler olabilir. Kimi evrenlerde gökadalar ve kümeler farklı biçimler alabilir veya kimisinde tamamıyla yok olabilir. Uzayzaman boyutlarının alıştığımızın aksine dörtten farklı olduğu, doğadaki kuvvetlerin şiddetlerinin bambaşka olduğu kimi evrenlerde fizik kanunları baştan yazılmış olabileceği gibi, yepyeni kuvvetler de mevcut olabilir. Kimi evrenlerde karanlık enerji ve karanlık maddenin yoğunluklarının çok daha büyük veya küçük olması uzayın büyük ölçeklerdeki genişleme şeklini de etkileyecektir.

Çoklu evrende elbette bizimkinden ufak farklılıklar gösteren evrenler de olacaktır. Güneş sisteminde farklı sayıda gezegen barındıran evrenler olacaktır. Ya da günlük çevremizin de değişmesine neden olacak şekilde, Güneş biraz daha parlak veya sönük olabilir. Ve Dünya'nın diğer tarafa döndüğü, Güneş'in batıdan doğup doğudan battığı evrenler de olacaktır.

Farklılıklar daha hafif de olabilir. Örneğin bu kitabın yazarının siz olduğunuz, okurunun da ben olduğum, şaşkınlıkla kafamı kaşıdığım evrenler olabilir. Hiçbirimizin mevcut olmadığı evrenler olabilir. Bir yerlerde Elvis (Presley) bir sonraki geri dönüş turnesini planlıyor olabilir. Tabii ki çok garip yerler de olacaktır, sizin Clacton İmparatoru olduğunuz garip bir evren gibi. Ne demek istediğimi anladınız. Tüm bu anlattıklarım Douglas Adams'ın *Otostopçunun Galaksi Rehberi*'ndeki sonsuz ihtimalsizlik motorundan fırlamış bir şey gibi geliyorsa, bunun nedeni aslında bir bakıma öyle olduğu içindir. Gerçekten de çoklu evren, olası her durumun olası bir evrende meydana gelmesine imkân tanıyacak kadar büyük olabilir.

O halde ciddi ve aklı başında fizikçilerin, apaçık çılgın ve hayal ürünü olan bu yola girmesinin nedeni ne olabilir? Çoklu evren fikrinin tartışılması on sekizinci yüzyılda Sir Isaac Newton'a ka-

dar gider. Newton, 1704 yılındaki *Opticks* çalışmasında, evrenin "doğa kanunlarının değiştiği", farklı "yoğunluklar ve kuvvetler" içeren çeşitli bölgelere bölünmüş olabileceği üzerine yorumlarda bulunmuştu. Hatta "Bunda çelişen bir şey görmüyorum," diye de eklemişti. Daha da öncesinde, 1584'te İtalyan matematikçi ve astronom Giordano Bruno *Sonsuz Evren ve Dünyalar Üzerine*[1] adlı kitabında evreni "sonsuz adet bizimkine benzer dünya" olarak tanımlamıştı. Sonra da bu küstahlığı nedeniyle Engizisyon tarafından kazığa bağlanarak yakıldı.

Çoklu evren isminin, Andy Nimmo'nun, British Interplanetary Society'nin İskoçya şubesinde başkan yardımcısı olarak görev aldığı sırada, 1960 yılının Aralık ayında yaptığı bir konuşmada ortaya çıktığı düşünülmektedir. Aslında yerleşik fizik ve kozmolojide çoklu evren olarak tanımlanan şeyin ne olabileceğini işaret eden birçok yol mevcut. Nimmo'nun, kuantum kuramı kanunlarına farklı bir bakış açısı getirerek kuantumsal rasgeleliğin, parçacıkların diğer evrenlerdeki karşı parçacıklarla etkileştikleri zaman oluştuğunu öne süren konuşması bunlardan sadece birisiydi.

"Çokluevren" ile tam olarak ne ifade edildiğine açıklık getirmek için MIT'de bir fizikçi olan İsveç doğumlu Max Tegmark, kelimenin gerçek anlamına dair dört olası tanım ya da kendi deyişiyle "seviye" ortaya koymuştu. Seviye I bunların en kolay anlaşılabilir olanıdır ve doğduktan sonra saniyenin ilk birkaç kesri boyunca evrenin aşırı miktarda şiştiğini söyleyen kozmik enflasyonun (bkz. sekizinci bölüm) bir sonucudur. Ardından enflasyon tamamlandığında, bugün gördüğümüz gibi daha kibar bir genişlemeyle 13,8 milyar yıl daha devam etti. Bu da bugün teleskopla görebildiğimiz en uzak astronomik cismin uzaklığından katbekat büyük, muazzam ölçülerde bir evren meydana getirmiştir.

Üçüncü bölümde gördüğümüz gibi gözlemlenebilir evrenimi-

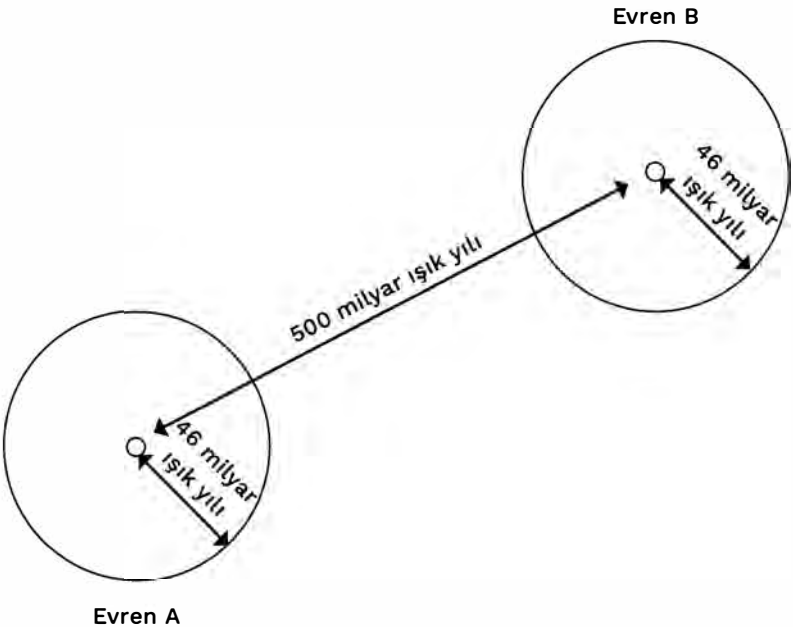
1 On the Infinite Universe and Worlds. (ç.n.)

zin bugünkü yarıçapı 46 milyar ışık yılı civarındadır. Ancak bu sadece görülebilen kısmı. Kozmik enflasyonun en tutucu döneminde oluşan evrenin tüm boyutu yanında bu, devede kulak kalır.

Bu da, bugünkü süper büyük ölçekli evrenin gözlemlenebilir evrenden kat kat büyük olduğu ve her biri 46 milyar ışık yılı yarıçapında birçok ufak parçaya bölünmüş olabileceği anlamına geliyor. Büyük Patlama'dan bu yana geçen süre, ışığın tüm bu bölgelerden geçmesine yeterli gelmediği için hiçbiri bir diğerinin varlığından haberdar değil. Örneğin Samanyolu'muzdan 500 milyar ışık yılı ötede bir gökadada dolanan bir yıldız etrafındaki bir gezegende medeniyet olduğunu düşünün. Ne biz ondan haberdar olabiliriz ne de o bizden ve milyarlarca yıl daha bu böyle sürüp gider. Aslında her ikimiz farklı evrenlerde yaşıyor da olabiliriz. Tegmark'ın olası çoklu evrenleri kademelendirdiği Seviye I'deki anafikir az çok bu şekilde. Her evren bir diğerinden gelen ışık veya başka bir sinyalin erişemeyeceği kadar uzakta, komşularından kopuk bir uzay bölgesi.

Tegmark'ın hesapları bu çoklu evrende senin en yakındaki kopyanın 1029 metre (1'in ardında 100.000.000.000.000.000 .000.000.000.000 tane sıfıra denk bir uzaklık) ötede olacağını söylüyor. Gerçi bunun çok tutucu bir tahmin olduğunu ve sana en benzer kopyanın çok daha yakında olabileceğini de belirtiyor. Öte yandan, eğer 46 milyar ışık yılı yarıçapındaki gözlemlenebilir evrenimizin atomu atomuna denk bir kopyasını bulmak istersen, 10115 metreden ötede aramana gerek yok. Evrenin enflasyona uğradığına inanıyorsan ki gördüğümüz gibi astronomik gözlemlerle tutarlı bir evren oluşturabilmemiz için bu oldukça gerekli, o zaman Seviye I çoklu evrenin meydana gelmesi kaçınılmaz.

Tegmark'ın Seviye II çoklu evreni de kozmik enflasyondan ortaya çıksa da bu seferki biraz daha spesifik bir tür olan, sekizinci bölümde bahsetmiş olduğumuz ebedi enflasyonlu evreni baz alıyor.



Işık hızının sonlu olması, Dünya'dan gözleyebileceğimiz en uzak astronomik cismin 46 milyar ışık yılı ötede olabileceği anlamına geliyor. Işığın uzayda birbiri arasındaki mesafenin bundan büyük olduğu iki bölge arasında yol alabilmesi için yeterli zaman henüz mevcut değil. Bunlar her durumda ve şekilde birbirinden farklı evrenler. Bu, Tegmark'ın Seviye I olarak adlandırdığı durum.

Daha önce Linde'nin, enflasyonun en doğal başlangıcının, kuantum dalgalanmalarının, evrenin ilk zamanlarında vakum enerjisinin baskın geldiği ufak bölgeler sayesinde olduğuna inandığını gördük. Bu durum, sürecin başlaması için tüm evrende vakumun baskın geldiğini iddia eden geleneksel enflasyon tarifinden çok daha ekonomik ve gerçeklemesi de daha olası.

Enflasyonun bu küçük bölgelerden birinde işe koyulmasıyla şişen uzay, tüm evreni hızla sarıp sarmaladı. Nihayetinde kendimizi bugün içinde yaşadığımız gibi bir evrende bulabilmemiz için, hızlı genişlemenin bir şekilde sona ermiş olması gerekiyor.

Linde'nin modelinde de bu, vakum enerjisini bazı bölgelerde rasgele azaltarak bu bölgelerdeki enflasyonun durmasına neden olan kuantum dalgalanmalarla tetiklenmiş. Buralar enflasyona neden olan alan sönümlenince parçacıklar ve ışınımla kendini yeniden iskân eden bağımsız evrenler halini almış. Ve ardından tıpkı astronomik gözlemlerin evrenimizin 13,8 milyar yıl önce yapmış olduğunu iddia ettiği gibi, bu evrenler de Büyük Patlama'nın ötesine genişlemiş.

Ancak uzayın kalanı, yani bu küçük evrenleri çevreleyen engin hacim genişlemeye tüm hızıyla devam etmekteydi. Tüm bu zaman boyunca diğer bölgelerde enflasyonun durmasını sağlayan da yine aynı süreçti. Ortaya çıkan görüntü, sürekli tomurcuklanan ve yeni evrenlere evrimleşirken daha sakince genişleyen baloncukları içeren devasa çoklu evrenlerin genişleyişini resmediyordu. Bu doğruysa bugün de süregelmekte olan ve kontrolsüzce devam edecek sürecin adı ebedi enflasyon olmalıydı.

Yeni "evrenler" diyorum. Aslında Seviye II çoklu evrende enflasyonlu genişlemenin dışına çıkan her bir baloncuk, Seviye I çoklu evren olmuş oluyor. Gördüğümüz gibi, birçok evrenden oluşan kümelerin her biri bir diğerinden ışığın yolculuk süresinin devasa olduğu mesafelerle ayrılmış. Seviye I çoklu evrendeki evrenler zaman içinde muhtemelen birbiriyle temas haline gelebilecek olsa da Seviye II'dekilerin her biri sonsuz enflasyonla sürekli hızlanarak uzaklaştıkları için asla kavuşamazlar.

Seviye II çoklu evrendeki her baloncukta fizik kurallarının bambaşka şekillere bürünebilmesi bunun sonuçlarından biridir. Sekizinci bölümde enflasyonun, evrenin ilk zamanlarındaki evre geçişiyle birlikte başlamış olabileceğini görmüştük. Evre geçişi için dünyamızdan bir örnek verecek olursak, buharın soğuyarak suya dönüşmesi bunun için uygun olur. Kâinatın yeni doğduğunda maruz kaldığı evre geçişleri, genişleyip soğuduğunda çok daha etkileyiciydi ve bu durumlar da genellikle doğanın temel simetri-

sini bozmaktaydı. Bir kuramın fizikte simetrik olması bir tür değişikliğin ardından da yine aynı görüneceği, aynı şekilde davranacağı ve aynı cevapları vereceği anlamına gelir. Zaman simetrisi buna bir örnektir. Kütleçekim kanunu zaman bakımından simetriktir: Bir ağaçtan düşen elma yere yaklaşırken 1666 yılında, dün ya da bugün hep aynı oranda hızlanır.

Simetrilerin fizikte büyük önemi olduğu ortaya çıkmıştır. Örneğin zaman simetrisi, enerjinin üretilemeyeceği veya yok edilemeyeceğini söyleyen ve fiziğin temel ilkelerinden biri olan enerjinin korunumuyla sıkı bir ilişki içindedir. Benzer şekilde konumsal simetri, fizik kanunlarının üç metre sağa ya da sola gitsem veya yerimden hiç kımıldamasam da geçerli olduğunu söyler. Diğer şeylerin yanı sıra konumsal simetri, iki bilardo topunun bir çarpışmada birbirini sıyırıp geçtiğinde oluşan hareketi belirleyen momentumun korunumu kanunuyla ilişkilidir.

Ancak simetri bundan daha derin bir olgudur. Fizikte kuramlar genellikle yapının kuramsal ve fiziksel davranışını temsil eden, detaylı, içsel simetrilerle karakterize edilir. Örneğin elektromanyetizmada proton gibi elektrik yüklü bir parçacığın kuantum dalga fonksiyonu belirli değişikliklere uğrasa da, davranışının değişmeden kalması gerektiğini biliyoruz. Bu simetrinin doğrudan bir sonucu olarak elektriksel yükün korunumlu olduğunu bulabiliriz; bu da, eğer bir proton birkaç başka parçacığa bozunacak olursa ortaya çıkan tüm parçacıkların toplam elektrik yükünün protonun elektrik yüküne eş olması gerektiği anlamına gelir. Fizikteki simetrinin doğadaki niceliklerinin korunumu anlamına gelen bu sürekli görüş, 1915 yılında keşfeden Alman matematikçi Emmy Noether'e ithafen *Noether kuramı* olarak bilinir.

Tüm bunlar, Büyük Patlama'dan kısa zaman sonra gerçekleşen bir evre geçişi yüzünden, bu içsel simetrilerden birinin bozulmasının karşılığında fiziğin işleyişinde toptan bir değişik olduğu anlamına geliyor. Sekizinci bölümde evren genişleyip soğuduk-

ça kademeli olarak ayrılan doğanın dört kuvvetinin, aslında nasıl sımsıkı tek bir birleşik süperkuvvet olduğunu görmüştük. Bu olaylar, doğanın simetrisini ve buna karşılık gelen fiziğin yapısını değiştiren, simetri bozucu evre geçişleriydi.

İşaret etmeye çalıştığım, farklı Seviye II baloncuklarının farklı fizik kanunlarına sahip olmasının önemini de ortaya koymakta olan bir şey; simetri bozulmasının öngörülebilir bir süreç olmadığı. Genellikle simetriyi bozmanın birçok yolu vardır ve her biri de evre geçişi tamamlandığında farklı etkin fiziksel kanunlar meydana getirir. *Etkin* diyorum çünkü bu farklılıklar fizik kanunlarının gerçek matematiksel yapılarında değildir. Genellikle kendilerini doğada sabit kabul edilen değerlerin değişmesi olarak gösterirler. Diyelim ki iki nicelik x ve y, doğada bir sabit olan a ile fiziksel olarak birbirine bağlı olsun. Farklı simetri bozulmaları denklemin yapısını değiştirmez, ancak a sabitinin farklı değerler almasına neden olabilir.

Örneğin kütleçekimi, Planck döneminin sonunda süperkuvveti kapsayacak bir şekilde bozulduğunda, kütleçekimsel sabit olan G (bkz. ikinci bölüm) olarak ölçülen kütleçekim kuvvetinin şiddetini belirleyen şey, simetri bozucu bir evre geçişiydi. Evrenimizin tarihini baştan oynatacak olursak, her seferinde farklı bir G değeri elde etmemiz oldukça mümkün.

Uzayın kaç boyutlu olacağı bile farklılık gösterebilir. Örneğin sicim kuramı (bkz. altıncı bölüm) kuramın tam olarak hangi sürümüne baktığınıza bağlı olarak, uzay ve zamanın ya 10 ya da 26 boyutlu olmasını gerektirir. Bunu en azından bizim evrenimizde gözlemlerle bağdaştırmanın en genel yolu, uzayın üç ve zamanın da bir boyutu haricindeki tüm boyutların ayırt edemeyeceğimiz kadar sıkı sıkıya birbirine dolanmış, *sıkıştırılmış* olduğunu söylemekten geçer. Bu tıpkı bir hortuma biraz öteden baktığınızda tek boyutlu görüp de azcık yakınına yaklaşıp incelediğinizde, yüzeyinin aslında iki boyutlu olduğunu görmeniz gibidir; boyutlardan

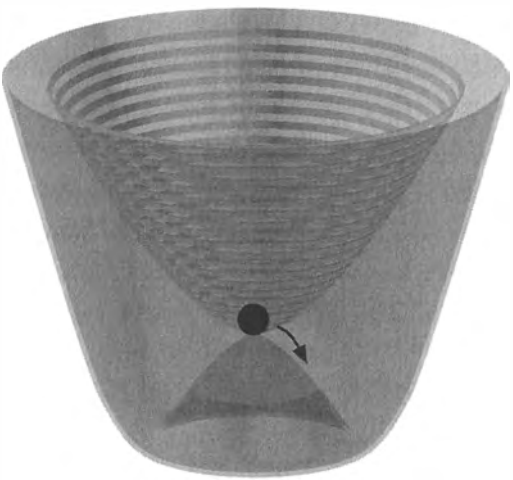
biri uzunluk ölçeğinde diğerine kıyasla o kadar kısadır ki uzaktan bakıldığında yokmuş gibi görünür. Tıpkı doğadaki sabitlere dair verdiğimiz örnekte olduğu gibi, sırf bize has Seviye I çoklu evreninde, ikinci bölümde gördüğümüz gibi bir geçici üç de konumsal boyut var diye başka yerden bakıldığında bu sıkıştırılmışlığın aynı şekilde çözümleneceği anlamına gelmez.

Simetri bozulmasının rasgele doğasını gözünüzde canlandırmak için, eski hocalarımdan birinin pek sevdiği bir benzetmesiyle, iki sıra havuca da eşit uzaklıkta duran bir eşek düşünün. Yüzü, paralel sıralarla aynı doğrultuda olan eşeğin ortasından bir çizgi çizerseniz, çizginin sağındaki görüntü solundakinin ayna görüntüsü olur. Bu, simetrik bir durumu, evrenin faz geçişinden önceki bir görünümü temsil eder. Ancak nihayetinde eşek acıkır ve açlıktan ölmemek için iki sıradan birinden başlayarak havuçları yemeye karar vermesi gerekir; bu da simetriyi bozar. (Felsefeciler burada özgür irade kavramını açıklamada kullanılan bir düşünce deneyi olan Buridan'ın eşeğiyle bir benzerlik yakalayabilir.)

Sonra bu hayali değiştirir (eşek değil, hocam tabii ki), havuçlardan bir halka oluşturur ve buna da haylaz bir tebessüm eşliğinde "nokta eşek" derdi. Nokta eşeğin de bir tercih yapması gerekir ve bu defa 0'dan 360'a kadar kaç derecelik doğrultudan başlayarak yiyeceğine karar vererek simetriyi bozar ya da açlıktan ölür. Seçeceği doğrultu yine rasgele olacaktır. Benzetmeyi yeniden fiziğe yöneltecek olursak buradaki her doğrultu, fiziksel sabitlerin farklı bir düzenlenişine denk gelir.

Daha az alengirli ve güzel diğer bir benzetme kuyunun dibindeki top örneğidir. Top, yuvarlanıp gidebileceği herhangi bir yer olmadığı için tamamen durağandır ve kuyu kendi dikey ekseni etrafında döndürülse bile topun konumu değişmez, yani simetri vardır. Peki ya bu sabit ve simetrik durum bir anda değişir ve top kendini güzel, rahat bir kuyunun dibinde değil de, iğne ucu gibi dik ve tehlikeli bir tepenin üstünde bulursa? O zaman simetri bo-

zucu bir durumla karşı karşıya kalırız. Top nihayetinde tepeden aşağı yuvarlanacağı kararsız bir durumdadır. Topun yuvarlanacağı yön, tıpkı nokta eşeğin havuçları hangi doğrultuda yemeye başlayacağını seçişi gibi rasgeledir ve son durum (yani top tepenin dibine vardığında) artık simetrik değildir, çünkü bu halde tepeyi kendi ekseni etrafında döndürecek olursanız topun konumu değişecektir.



Simetri bozulmasına bir örnek. Bir kuyunun (şeritli eğri) dibinde duran bir top durgun ve simetrik bir haldedir. Ancak kuyu dik bir tepeye (alttaki içi dolu eğri) evrilecek olursa top kararsız hale gelir ve bir doğrultuda yuvarlanarak simetriyi bozar.

Evrenin ilk zamanlarında sıcaklık düştükçe evre geçişleri bu şekilde ilerledi. Tıpkı kuyudaki top örneğinde olduğu gibi, maddesel alanın kararlı ve simetrik halleri, topun dar bir tepenin üstüne tünediği durumdaki gibi kararsız ve simetrinin er ya da geç mutlaka bozulacağı hallere evrildi. Aslında enflasyona yol açan evre geçişi de tam olarak bu şekilde gerçekleşmiş olabilir. Alanda tepeden

aşağı "yuvarlanmayı" tercih ettiği doğrultu, bizim evrenimizdeki (ve Seviye II baloncuğumuzdaki diğer tüm evrenlerde) fiziğin sonsuza dek ne olacağını saptamış oldu.

Seviye II çoklu evrenden filizlenen diğer baloncuklar, enflasyondan farklı zamanlarda çıkacak ve simetrilerini farklı şekillerde bozacaklar. Genel itibarıyla, Seviye II'de enflasyondan çıkan her baloncuktaki doğa sabitlerinin farklı değerlerde ve hatta belki de farklı uzayzaman boyutluluğunda olmasını bekleriz. Sicim kuramına dayanan hesaplamalar, bu şekildeki simetri bozulmaları nedeniyle 10500'e varan farklı fiziksel düzenler olabileceğini öngörmektedir.

Bu, Seviye I çoklu evreninden oldukça farklı. Hatırlarsanız Seviye II'deki enflasyon sonrası her baloncuğun Seviye I'de bir çoklu evren olmasına karşılık, her biri ışığın yolculuk süresiyle birbirinden ayrılmış birçok evrenden oluşmaktaydı. Belirlenen herhangi bir baloncuktaki bütün evrenler enflasyondan birlikte çıkmış olacaktır. Bu da simetrilerin tamamen aynı şekilde bozulacağı ve böylece her birinde aynı fiziksel sabitlerin ve aynı uzay ve zaman boyutluluğunun etkin olacağı anlamına gelir.

Ebedi enflasyona inanıyorsanız Seviye II çoklu evren bunun mecburi bir sonucudur. Ancak Seviye II için belki de en iyi kanıtlardan biri, doğadaki sabitlerin bazılarına musallat olan "ince ayar" sorununu nasıl açıkladığı olabilir. Evrendeki karanlık enerji miktarının sırf bu sorunla nasıl cebelleştiğini yedinci bölümde görmüştük. Karanlık enerji gerçekten de boş uzaydaki vakum dalgalanmalarının sonucuysa, kuantum alan kuramına dayanan ilkel hesaplamalara göre karanlık enerji yoğunluğunun gerçekte gözlemlediğimizden çok daha büyük olması gerekir. Hatırlayın; karanlık enerji evrenin genişlemesinin hızlanmasına neden oluyor, dolayısıyla hızlanmanın oranını ölçmek aslında evrende ne kadar karanlık enerji olduğu hakkında bize bir fikir verecektir.

Karanlık enerji yoğunluğu kuantum kuramının öngördüğü

kadar büyük olsaydı bu, evrende mevcut yaşam için kötü haber demek olurdu. Yaşam için gezegenler, gezegenler için yıldızlar, yıldızlar için gökadalar, kümeler ve süperkümeler gerekir. Tüm bu cisimler, maddenin kendi kütleçekimsel alanının bir araya getirici etkisi altında, doğal olarak topaklanması nedeniyle oluşmuştur. Ancak karanlık enerjinin kütleçekimi itici etkidedir; gökadalar ve kümeler şekillenirken çok fazla miktarda karanlık enerji olsaydı, yığılmakta olan maddeye ait kütleçekimin bir araya getirici etkisini alt edip bu cisimlerin oluşumunu durdururdu.

Evrende görebildiğimiz karanlık enerji yoğunluğuna bakılırsa, evren yaklaşık 9,8 milyar yıl yaşına gelinceye dek maddeyi alt edebilmiş değil (bkz. zaman çizelgesi). Ve bu sürede gökadalar ve kümeler çoktan oluşmuştu. Ancak karanlık enerji yoğunluğu gözleyebildiğimizden çok daha fazla olsaydı, evrenin hızlanan genişlemesi maddeler arası kütleçekimin bir araya getirici etkisini gökadalar ve kümeleri oluşmaya fırsat bulamadan alt etmiş olurdu. Ortaya çıkan evren, hiçbir gökada, yıldız, gezegen veya yaşam içermeyen, en azından bizim aşina olduğumuz şekline kıyasla çorak bir yer olurdu.

Yaşamın oluşabilmesi için "tam ayarında" olması gereken tek şey sadece karanlık enerji yoğunluğu değil. Elektromanyetizmanın şiddeti farklı olsaydı, atomlar ve moleküller arasındaki kuvvetlerin değişmesine ve biyoloji için gerekli kimyasal süreçlerin bozulmasına neden olurdu. Eğer kütleçekim biraz daha güçlü veya zayıf olsaydı, evrendeki yapıların oluşumunu bozardı. Bizim Güneş sistemimizde kütleçekimi bir nebze daha güçlü olsaydı, Dünya'nın yörüngesinin yarıçapı küçülür ve Güneş büzüştüğü için daha sıcak olurdu ve bunun net etkisi de Dünya yüzeyinin kavrulması olurdu. Eğer evrenimizdeki konumsal boyutların sayısını üçten mesela ikiye düşürecek olsak, bir canlının sinir veya kan damarı ağına sahip olması imkânsız olurdu. Yaşam çok zorlaşırdı.

Tabii ki evrende yaşam olduğunu, bunun canlı kanıtı olarak

biz biliyoruz. Ancak gerçekten de Seviye II çoklu evrende bulunuyorsak bu da şaşırtıcı olmamalı. Muhakkak ki kendimizi onca evren arasında koşulların yaşama uygun olduğu bir evrende bulmalıyız; tıpkı her sabah uyandığımızda kendimizi cehennem sıcağı Venüs ya da yaşanması imkânsız Plüton'da değil de, bizim güzel, yaşanabilir gezegenimizde bulduğumuz gibi.

Böylesi bir açıklama *insancı ilke*[1] olarak anılmakta. İnsancı ilke, fizik kanunlarının evrende yaşamın, özellikle de insanlığın (bu nedenle *insancı* adı veriliyor) oluşmasına imkân vermek zorunda olduğu görüşüdür ve aksi halde her şeyden önce doğanın kanunlarını irdeleyecek bizlerin burada olamayacağımızı söyler. 1950'lerde, astrofizikçi Fred Hoyle (daha önce Durağan Hal Kuramı'nın öncüsü olarak tanımıştık) kuantum fiziğinde belirli parçacık etkileşimlerinin gerçekleşme olasılığının zirvesi olarak tanımlanan *rezonans* kavramını öngörebilmek için insancı ilkeyi uygulamıştı. Rezonans, yıldızların içindeki çekirdek tepkimelerinde, üç helyum çekirdeğinin kaynaşarak bir karbon çekirdeği oluşturma olasılığını güçlendirmişti. Böylelikle oluşan karbon miktarı şiddetle artacaktı. Hoyle, bu olmadığı takdirde gökadadaki karbon miktarının Dünya'da gördüğümüz karbon temelli hayatın bolluğunu açıklamaya yetmeyeceğini iddia etti. Diğer fizikçilerin şüpheciliklerine rağmen rezonans Hoyle'un olması gerektiğini söylediği yerde bulundu. Bunun o zamanlardan beri bilim tarihindeki en cesur öngörü olduğu söylenir.

Bu başarısına rağmen insani ilke, Seviye II çoklu evrenin desteğinin eksikliğiyle çuvalladı ve en iyi durumda döngüsel bir tartışma, en kötü durumda da yaratılışçılığa doğru bir ayrım halini aldı. Farz edin ki bir piyango bileti aldınız ve üzerindeki numara doğum tarihiniz çıktı. Eğer tek bir bilet varsa bu oldukça etkileyici bir durum olurdu. Ama binler hatta milyonlarca bilet varsa,

1 Anthropic principle. (ç.n.)

sizin doğum tarihinizi taşıyan bilet elbet birisine denk gelecekti ve bu kişinin siz olma olasılığınız da herhangi biri olması kadar mümkün. Benzer şekilde, eğer tek bir evren varsa, bunun yaşama uygun olduğunu bulmak, özellikle de fiziksel olarak bu pek olası değilse, gerçekten de çok şaşırtıcı olur. Evet, koşullar farklı olsaydı burada olamazdık, ancak soru hâlâ aynı: Kim ya da ne bu koşulları böyle muntazam bir şekilde ayarladı?

Başka bir seçenek olarak, eğer tüm olasılıkların gerçekleştiği, karanlık enerji yoğunluğunun, fiziksel sabitlerin ve uzayzaman boyutlarının olası tüm değerlerini de içeren, her biri birbirinden farklı birçok evren varsa yaşamın bulunması kaçınılmaz olacaktır. Ve kendimizi bunlardan birinde bulmamız da pek kayda değer sayılmaz. Evrendeki bu kafa karıştırıcı ince ayar sorununu çözebilme gücü sayesinde Seviye II çoklu evren, gerçekliği resmedişimize cezbedici bir katkı sağlıyor.

Bu da bizi Tegmark'ın hiyerarşisinde üçüncü düzeye getiriyor. Andy Nimmo'nun 1960'da çoklu evren terimini ürettiği konuşmasının konusu buydu: Üç yıl önce ABD'li fizikçi Hugh Everett, o zamanlarda Princeton Üniversitesi'nde lisansüstü çalışmalar yapmaktayken kuantum kuramına yeni bir yorum getirmişti. Gördüğümüz gibi, kuantum kuramının kanunları katı ve ani öngörülerde bulunmak yerine olasılığın kısmen kaygan yollarını tercih etmişti. Atomaltı parçacıklara benzer kuantum cisimleri, bir parçacığın uzayda herhangi belirli bir yerde bulunma olasılığını veren, bir gölün yüzeyindeki dalgalanmalar gibi salınımlı bir eğri şeklindeki dalga fonksiyonuyla tanımlanır. Parçacık ölçüldüğünde ya da etrafıyla yeterince etkileştiğinde "kuantumluluğu" bozulur, dalga yıkılır ve parçacık yoğuşur: Önceden dalga fonksiyonunun çökmesi olarak adlandırılan süreç artık *uyumsuzlaşma*[1] olarak tanımlanıyor (bkz. altıncı bölüm).

1 Decoherence. (ç.n.)

En azından yaklaşımlardan biri böyle. Everett uyumsuzlaşma için *birçok dünya yorumu*[1] olarak bilinen daha ilginç bir çıkarımda bulundu. Richard Feynman'ın yol integrali yaklaşımını, belirli bir kuantum olayının olasılığını (örneğin iki parçacığın birbirinden sekmesi gibi) görmek için nasıl da olayın gerçekleşebileceği her rota veya "yol"a karşılık gelen olasılıklarının toplamı olarak kullandığını görmüştük (bkz. 138. sayfa). Feynman'a göre tüm yollar bir olasılık. Everett'in görüşü her ne kadar bizim evrenimizde olmasalar da, bunların her birinin gerçekten meydana gelen fiziksel gerçekliklere karşılık geldiği yönündeydi. Olası tüm geçmişlerin yaşandığı bolca paralel evren olduğunu varsaymıştı. Bu paralel gerçekliklerden oluşan çoklu evren, ne zaman bir kuantum olayı gerçekleşse olası her sonucun gerçekten de oluştuğu başka evrenlere bölünüp dallanıyordu.

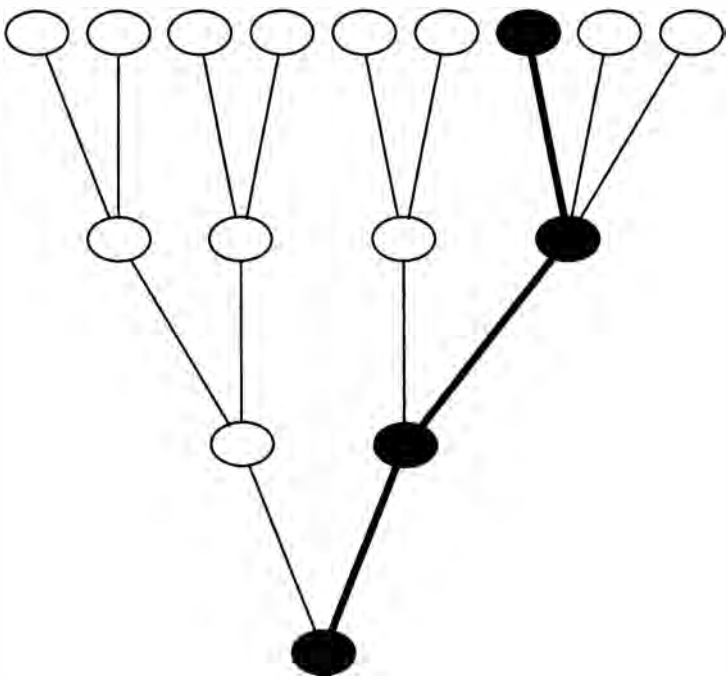
Böylece kuantum olasılıkları kavramı, çoklu evrende farklı çıktılara karşılık gelen evrenlerin örtüşüp üst üste binerek oluşturduğu bir tür girişim olarak anlaşıldı. Kuantum dünyasında aynı anda birçok yerde bulunabilen bir parçacık ele alalım. Nerede olduğu belirsiz olan parçacığın konumu, paralel evrenler demetine yayılan bir dalga fonksiyonuyla tanımlanır. Demetteki her evren, parçacığın belirli bir olası konumuna karşılık gelir. Öncelikle bu evrenlerin hepsi birbirine çok yakındır ve parçacığın konumunun olasılıksal görüntüsünü bulanıklaştıracak şekilde birbirilerine karışırlar. Ancak nihayetinde dalga fonksiyonu uyumsuzlaşır ve kuantum olasılıkları, parçacık için tek, belirli (yani olasılıksal olmayan) bir konum verir. Everett'in senaryosuna göre bu uyumsuzlaşma, evren demetleri birbirinden ayrılıp birbirleri arasındaki girişimin sonlanması ve parçacığın her evrendeki göreli konumunun sabitlenmesiyle gerçekleşir. "Senin" hangi evrende bulunduğun rasgele olsa da her evrende parçacığın farklı yerlerde dalga

1 Many worlds interpretation. (ç.n.)

fonksiyonundan yoğuştuğunu gözleyecek öteki "sen"ler olacak. Her kuantum olayı gerçekleştiğinde çoklu evren böyle dallanır ve bizim deneyimimiz de sürekli dallanan ve yayılan bu ağda belirli bir yola karşılık gelir.

Seviye I veya Seviye II çoklu evrendeki diğer evrenler bizimkiyle aynı uzay ve zamanı işgal etseler de, Seviye III'te çoğuna asla ulaşamayacağımız, birbiriyle bağlantısız farklı gerçeklikler oluştururlar.

Bu, bazı fizikçilerin çoklu dünya yorumunun test edilebilirliğini ve gerçekten bilimsel bir kuram oluşturup oluşturmadığını sorgulamasına neden oldu. Ancak, Oxford Üniversitesi'ndeki fi-



Seviye III çoklu evrende bizim gerçeklik olarak algıladığımız şey, kuantumsal olayların oluştuğu, sürekli dallanan evrenler ağı boyunca karmaşık bir yolculuğun sonucu olabilir.

zikçi David Deutsch, çoklu dünyalar için halihazırda çok güçlü bir kanıtımız olduğunu söylüyordu. Deutsch'un kastettiği şey, kuantum kuramının ilkelerini kullanarak süper hızlı işlem yapabilen makinalar olan kuantum bilgisayarlardı. Masaüstünüzde ya da telefonlarınızda yer alan sıradan bilgisayarlar, veriyi işlemek için değeri 1 veya 0 olabilen "bit" veya ikili sayı sistemini kullanırlar. Bir araya gelerek baytları oluşturan bitler böylece daha büyük sayıları depolayabilir. Daha sonra Maxwell'in klasik elektromanyetizma teorisini kullanarak işlemler gerçekleştirebilmek için bilgisayarın elektrik yüklerini kullanan hafızasına, yüklü hafıza hücresi 1'i, yüksüz hafıza hücresi de 0'ı gösterecek şekilde bilgi kaydedilir. Ancak Deutsch'un 1985 yılında gösterdiği gibi, Maxwell'in elektromanyetizması sadece bir yaklaşımdır; çok daha iyi bir tanım İkinci Dünya Savaşı'ndan hemen sonra, Feynman ve diğerleri tarafından geliştirilmiş olan kuantum elektrodinamiğinin eksiksiz bir kuramı kullanılarak elde edildi (bkz. altıncı bölüm). Deutsch da böyle yaparak hesaplama kuramını kuantum çerçevesinde yeniden biçimlendirdi. Şimdi, tıpkı parçacıkların kuantum fiziğine göre aynı anda iki yerde birden olabildiği gibi, Deutsch'un yeni kuantumsal hesaplama kuramındaki bilgi biti de aynı anda hem 0 hem de 1 olabilirdi. Bu, kuantum biti ya da kubit[1] olarak bilinmekte. Kubit değerine 1 eklemek gibi bir işlem yapmak demek, onun her iki değerine de, yani hem 1 hem de 0'a aynı anda bu işlemi uygulamak demektir. Benzer şekilde 8 kubitten oluşan bir kuantum baytıyla yapılan işlem de, onun tüm 256 (28) değerinde aynı anda geçerli olur.

Bu sayede kuantum bilgisayarları aşırı hızlıdır. Örneğin 2013 yılında, Kanadalı bir firma olan D-Wave Systems tarafından yapılan bir testte 439 kubit'lik bir kuantum bilgisayarının günlük masaüstü bilgisayarından 3600 kat daha hızlı olduğu tespit edil-

1 Qubit. Kimi türkçe kaynaklarda kübik olarak da geçmektedir. (ç.n.)

miş. Şifre kırma gibi sıradan uğraşlarda çok büyük sayıların faktöriyelinin alınması ve sayıların çarpanlarına ayrılması gibi bazı matematiksel işlemler, sıradan bir bilgisayarla yapılacak olduğunda, işlemin tamamlanması için gereken süre evrenin yaşından da büyük olacaktır. Ancak bir kuantum bilgisayarıyla böylesi işlemler bile başa çıkılabilir hale geleceği için makul zaman ölçeklerinde gerçekleştirilebilir.

Deutsch, kuantum bilgisayarların bu kadar hızlı işlem yapabilmeleri için gözlemlenebilir evrendeki atom sayısından da fazla sayıda bilgi içeren bitle çalışması gerektiğini iddia ediyor. Ve bunun da, kuantum bilgisayarların Seviye III çoklu evreninde bulunan diğer evrenlerdeki gerçek fiziksel kopyalarının da gücünü kullandığının bir kanıtı olduğuna inanıyor. Aksi halde böylesi aşırı miktarlarda verileri işlemeleri ve depolayabilmeleri, fiziksel olarak imkânsız olurdu.

Max Tegmark Seviye III çoklu evrenlerin içinde yaşamakta olduğumuza dair kuramı test etmek için başka bir yöntem geliştirdi. *Kuantum intihar* olarak adlandırılan bu yöntem, 1987 yılında Avusturyalı fütürolog Hans Moravec'in öne sürdüğü bir fikre dayanmaktadır. Aslında altıncı bölümde karşılaştığımız Schrödinger'in kedili düşünce deneyinin ölümcül bir çarpıtması da diyebiliriz. Radyoaktif bir kaynağın yanında duran bir parçacık dedektörüne bağlı bir tabanca olduğunu düşünelim. Bu kaynak, radyoaktif bozunmanın kuantum kanunlarına uygun şekilde parçacık fırlatsın. Tabanca öyle bir düzenekte kurulmuş ki, bir parçacık algılandığı anda tetik çekiliyor, aksi halde şarjör boşa dönüyor. Şimdi yapmanız gereken, tabancayı çoklu dünya yorumuna göre çok cesur, çok salak ya da kendinden çok emin bir deneğe doğrultmak ve ne olacağını izlemek.

Radyoaktif kaynaktan bir parçacık salınması bir kuantum süreci olduğu için, çoklu dünya görüşünde iki seçenekten sadece birinin gerçekleşebileceği evrenler demetini tanımlayan dalga fonk-

siyonuyla kontrol edilir. Ya bir parçacık algılanır, tabanca ateşlenir ve denek ölür ya da hiçbir şey olmaz ve denek kurtulur. Tegmark'a göre, çoklu dünyaların gerçekten bizim gerçeklik algımıza dair doğru görüş olması halinde deneycinin kendini her zaman sağ kaldığı evrende bulması gerekir. Neden böyle olması gerektiğinin açıklaması biraz Seviye II çoklu evrenleri ve her koşulda kendimizi yaşama uygun bir evrende bulabilmemizi sağlayan insancı ilkeyi çağrıştırıyor. Yani eğer olaylar aksi şekilde gerçekleşseydi, zaten mevcut olmayacağımız için bunları gözlemlememiz de mümkün olmayacaktı. Benzer şekilde deneğin öldüğü evrenlerde bunu gözlemleyebilen kimse yok; bu nedenle %100 olasılıkla denek kendini hep sağ buluyor.

Başka şekilde düşünelim. Öncelikle radyoaktif kaynağın dalga fonksiyonu, girişim halindeki evren demetine yayılmış halde olsun. Kaynağın parçacık saldığı evrende denek ölürken, diğerinde yaşar, o nedenle deneğin kaderi kaynağın çoklu evrenlere yayılmış tek bir dalga fonksiyonuyla belirlenir. Uyumsuzlaşmanın ardından evrenler birbirinden ayrılır ve parçacığın salındığı evrende deneğin bilinci yok olur. Tüm bunlar, deneğin bilinçli olduğu evrenlerin sayısının azalmasına neden olur. Ve bu sayının sıfırdan farklı olduğu varsayılırsa, bu son buldukları yer olmalı.

Geçen her saniyede tabancanın sürekli boşa döndüğü ve ateşlenmediği duyulur. Ancak bu sadece deneğin kendisi tarafından böyle algılanabilir. Olaya tanıklık edenlerin parçacık kaynağıyla hiçbir kuantumsal bağı olmadığı için tabancanın ateş aldığı durumdaki feci sonuçları görmeleri gerekir.

Çoklu dünyalar yorumu, kuantum kuramının kuantum intiharının mümkün olabileceğini kabul ettiği tek senaryo; çünkü bu, deneğin sığınabileceği başka evrenler olmasına imkân tanıyan tek seçenek. Ancak Tegmark, ölüm var olduğu sürece bunun da sizi kurtarmayacağını itiraf ediyor. Örneğin ölümcül bir hastalığa yakalanırsam, yakalanmam kuantumsal bir sürece bağlı olsa

bile yine de nihayetinde öldüğüm bir evren de olacaktır. Genel itibarıyla, ancak ölüm yönteminin bilincinizi yok etmesi için ihtiyaç duyduğu sürenin kuantum sistemin uyumsuzlaşma için ihtiyaç duyduğu süreden az olduğu durumda, kuantumla intihar ölümsüzlük vaat edebilir. Deneyler böylesi sürelerin pikosaniye (0,000000000001 saniye) mertebesinde kısa olduğunu ortaya koymuştur. Ne var ki Tegmark, yeterince "yaşlı ve çılgın" olduğu bir gün bu deneyi kendi üzerinde yapabileceğinin şakasını da yapmıştır.

Seviye IV, Tegmark'ın çoklu evren sınıflamasındaki son aşama. Kendi fiziksel uzay ve zamanımızı işgal eden çoklu evrenlerin yanı sıra, tamamıyla farklı sahnelerde rol alan çoklu evrenler de gördük. Seviye IV'te ise çoklu evrenin dokusu, matematiğin kendisinden oluşuyor. Seviye II'de doğa sabitlerinin değişiklikler göstermesinin mümkün olduğunu görmüştük. Ancak Seviye IV, sadece fizik sabitlerinin değil, farklı evrenlerde fiziğin tamamıyla farklı olmasını da mümkün kılar. Eğer Seviye IV'e inanıyorsanız, evrenin nasıl oluştuğu, nasıl var olduğu ve nasıl öldüğüne dair matematiksel olarak mümkün olan her kuram, bir yerlerde mevcut fiziksel gerçekliklere karşılık gelmektedir.

Seviye IV için şu anda elle tutulur bir kanıt bulunmamaktadır. Ancak gelecekte, evrenimize dair fiziğin her şeyi kapsayan yapının fiziğiyle birleştiği Her Şeyin Kuramı keşfedildiğinde bu bir başlangıç olacaktır. Kâinatımızın enerji ve kütlesinin, uzay ve zamanının, bir dizi matematiksel kuralla katı bir kontrol altında tutulduğunu bilmek, en azından bir yerlerde başka, tamamen farklı gerçekliklerin olma olasılığını mümkün kılar. Seviye IV., tüm çoklu evrenlerin anası olarak kabul edilebilir. Kesinlikle en geniş faaliyet alanına sahiptir ve diğer tüm olasılıkları kapsamalıdır; yani tanımı itibarıyla Seviye V diye bir seviye olamaz.

Benim aklımdaki soru "Çoklu evrende mi yaşıyoruz?" değil. Sorum bunun yerine şu: "Bizim gerçekliğimiz, görmüş olduğu-

muz tüm bu devasa çoklu evrenler içinde tam olarak nereye denk geliyor?" Seviye I'in mecburi sonuç olabilmesi için tek gereken, standart Büyük Patlama kuramı için mevcut durumda zaruri bileşen olan kozmik enflasyona inanmak. Ve daha önce gördüğümüz gibi, diğer iki seviye için gerekli somut kanıtlar zaten mevcut. Tegmark bir tür çoklu evren içinde yaşadığımız iddiasına ömrü boyunca yapmış olduğu tüm birikimi yatırmaya hazır olduğunu söylemiştir.

Çoklu evren kavramının huzur veren bir yanı olduğunu belirtmek gerekir, özellikle de yolculuğumuz onun kaçınılmaz bir sonucu olma yolunda ilerlerken ve evrenin nihayetinde nasıl sonlanacağını düşünmeye başladığımızda. Çünkü evrenimiz, gerçekten de birçoklarından biriyse, bizim içinde bulunduğumuz köşesi ortadan kaybolsa bile çoklu evrenin yaşamaya devam edeceğini ümit edebiliriz.

ON İKİNCİ BÖLÜM

Çökme Zamanı

"Büyük Patlama'da bir hiçlikten gelen evren, Büyük Çökme ile yine bir hiçlikte yok olacak. Birkaç katrilyon yıllık muhteşem varlığın bir hatırası bile kalmayacak."

Paul Davies

Evrenin genişlemesini geriye doğru izleyecek olursak sıfırlandığı âna erişiriz. Burada evrenin hem sıcaklığı hem de yoğunluğu ölçülemeyecek kadar büyüktür. Büyük Patlama, sadece evrenin fiziksel olarak varoluşunu değil, aynı zamanda uzayın ve zamanın başlangıcını da belirler.

Tıpkı kozmolog Georges Lemaître'in Büyük Patlama'yı "dünü olmayan gün" olarak adlandırması gibi, evrenimizin nihai ölümünden de "yarını olmayan gün" olarak bahseden bir kuram mevcut. Büyük Çökme olarak bilinen bu senaryoda uzayın genişlemesi tersine dönerek evrenin boyutunun küçülmesine, tek bir nokta haline gelene dek büzülmesine ve her şeyin toptan yok olmasına, tıpkı başlangıçtaki gibi bir anda ve durup dururken ortadan kaybolmasına neden olur. Bu da kelimenin tam anlamıyla zamanın sonu demektir.

Evrenin sonunun herhangi bir mantık çerçevesinde tartışılmasını mümkün kılan, Lemaître'in Büyük Patlama üzerindeki ilk çalışmalarıydı. Uzayın genişlemesinin zaman ilerledikçe nasıl

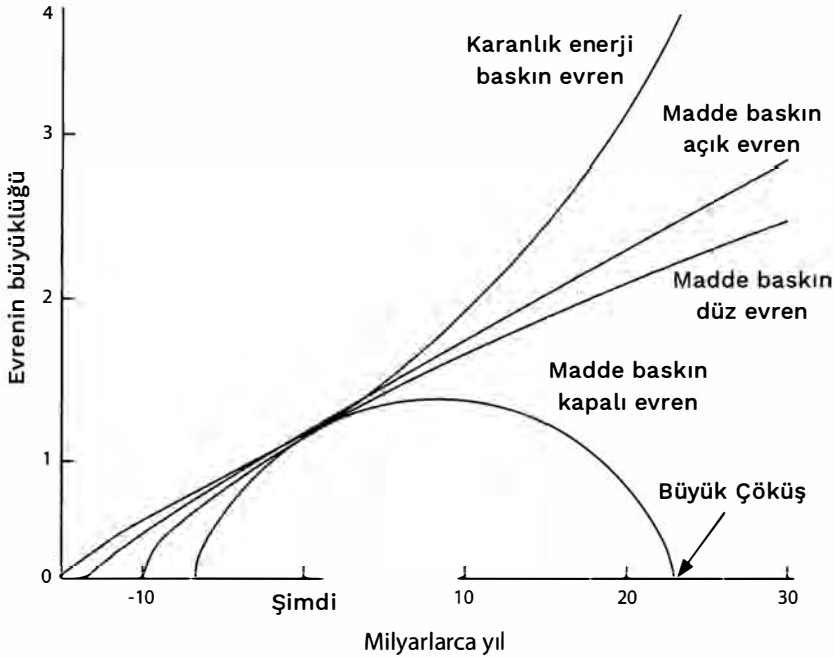
davrandığını tanımlayan matematiksel bir model oluşturmak için 1927'de Einstein'ın genel görelilik kuramını evrene uyguladı. Modelin, evrenin genişlemesinin hem geçmişte hem de gelecekteki davranışına dair bir dizi detaylı matematiksel denklem vermesi için tüm yapmanız gereken, mevcut genişleme oranını ve uzayın ne tür bir malzemeyle dolu olduğunu belirtmek.

Lemaître, denklemlerini geriye sararak evrenin bir başlangıcı olduğu sonucuna ulaşabilmişti. Ancak aksi uçta, evrenin uzak geleceğinde ne olabileceğini sorduğu zaman işler sarpa sardı. Lemaître'in zamanında kimse karanlık enerjiden haberdar olmadığı için, o da modelindeki evreni sıradan maddeyle doldurmuştu. Ancak Lemaître bunun hemen ardından evrenin nihai kaderinin, içerdiği maddenin yoğunluğuna bağlı olduğunu fark etti. Yoğunluğun kritik bir değeri olduğunu buldu (bkz. üçüncü bölüm). Evrenin ortalama yoğunluğu kritik yoğunluğa eşitse, sonsuz uzak bir gelecekte sıfıra erişecek kadar yavaş yavaş azalan bir genişleme hızıyla sonsuza dek devam edebilirdi. Yoğunluk kritik değerden azsa, uzay hiç durmaksızın, sonsuza dek kolaylıkla genişleyebilecekti. Ve eğer yoğunluk kritik değerden büyükse, evren erişebileceği en büyük boyuta eriştikten sonra yeniden kendi üzerine çökecekti.

Bu üç tür evren sırayla düz, açık ve kapalı olarak adlandırılır (bkz. üçüncü bölüm). Açık ve kapalı evrenler yanıp kül olmak yerine solup gider. Uzayın ebedi genişlemesi evrenin içeriğinin yok olana dek seyrelmesine neden olur. Yıldızlar kül olup ölürler, madde karadeliklere çekilir ve gökadalar birbirlerinden o kadar uzak kalırlar ki gece, gökyüzünü dolduracak hiçbir şey olmadığı için kör edici bir karanlığa bürünür. Bu acımasız senaryo evrenin *Isısal Ölüm*ü olarak bilinir; buna gelecek bölümde değineceğiz. Ancak açık ve düz evrenler kadar olası üçüncü bir seçenek daha var ki, o da bolca madde içeren kapalı evrenin Büyük Çökme ile nihayetinde yeniden kendi üzerine çökmesi.

Bu üç olasılık da evrenin genelinin, kütleçekimi vesilesiyle başka maddeleri de çeken maddeyle dolu olduğunu varsayar. Ancak tabii ki böyle olmadığını biliyoruz; evrende baskın gelen şey itici etkideki ve evrenin genişlemesinin hızlanmasına neden olan karanlık enerji. Görünüşe bakılırsa karanlık enerjinin varlığı Büyük Çöküş'ü epeyce olanaksız kılıyor. Günümüzde evrenin yoğunluğunun neredeyse %70'ini karanlık enerjinin oluşturduğunu biliyoruz. Diğer bir deyişle, evrendeki şeylerin %70'i itici bir güç teşkil ederken, sadece %30'u Büyük Çöküş'e neden olabilecek şekilde kütleçekimsel olarak maddeyi bir araya getiren türden. Karanlık enerji, yoğunluğu kritik değeri aşan ve normalde yeniden çökecek olan kapalı bir evrenin bile, eğer karanlık enerjisinin itişi, maddi içeriğinin çekici yerçekimini alt ederse, süresiz olarak genişleyeceği anlamına gelir. Mikrodalga ışınımın en güncel gözlemleri, evrenimizin açık ve kapalı evrenler arasında bir bıçak sırtındaymışçasına bocalayarak, neredeyse kritik yoğunluğa tam tamına eş olduğunu öne sürmekte. Karanlık enerjinin fazladan bir ittirmesiyle beraber sonraki bölümde detaylıca inceleyeceğimiz sonsuz genişleme ve Isısal Ölüm başımıza gelebilecek en olası senaryo gibi görünüyor.

Ancak karanlık enerji tüm bunların içinde bir joker gibi. Kimse gerçekten ne olduğunu anlamış değil. Daha önce gördüğümüz gibi, parçacıkların uzay boşluğunda kuantum kuramına göre belirip kaybolmasıyla ilişkilendirilen enerji olan evrenimizin vakum enerjisi bunun en basit açıklaması. Durum buysa, evren zamanla genişledikçe karanlık enerjinin sabit kalması gerekir (bkz. yedinci bölüm). Günümüzde astronomik gözlemler bunu desteklese de, ölçümler hâlâ epeyce muğlak. Önümüzdeki yıllarda hem yerde hem de uzaydaki yeni teleskoplar sayesinde bu belirsizlik azalacak. O zamana dek karanlık enerjinin yoğunluğunun sabit olmak yerine zamanla değişen bir tür dinamik olgu olması gayet mümkün. Eğer durum böyle olsaydı ve örneğin karanlık enerjinin küt-



Karanlık enerjinin baskın olduğu evrenin açık, kapalı ve düz evrenle karşılaştırılması. Sıradan kapalı bir evren Büyük Çöküş ile sonlanırken, karanlık enerjinin varlığı kapalı bir evrenin bile sonsuza dek genişlemesine neden olabilir.

leçekimi gelecekte itici olmak yerine çekici bir hal alsaydı o zaman Büyük Çökme olası hale gelecekti.

Bir iyi haberimiz var: Eğer evrenimiz Büyük Çöküş'e doğru yol alıyorsa bile bu muhtemelen önümüzdeki 20-25 milyar yıl içinde gerçekleşmeyecek. Evren bugün 13,8 milyar yıl yaşında ve genişlemeye devam ediyor. Büyük Çöküş henüz başlamadan önce genişlemenin tersine dönmesi gerekiyor ki bu da bir gecede olacak iş değil. Yani zaman bizden yana. Modern insan son 100.000 yıl içinde, yani kozmik zaman ölçeğinde göz açıp kapayana kadar kısa bir zamanda evrimleşti. Büyük Çöküş'ün başlayacağı zaman gelene kadar evrimde ne kadar yol katetmiş olacağımızı ya da bi-

limden aldığımız güçle etrafımıza ve evrene ne kadar hükmedebilir hale geleceğimizi kim bilir.

Öte yandan, uygarlığımız bunca zaman ayakta kalabilecek mi diye merak edenler de olabilir. Günümüzden yaklaşık 4 milyar yıl sonra Samanyolu'nun komşu gökada Andromeda ile çarpışması bekleniyor; astronomik ölçümler bunların birlikte hareketinin şu anda saniyede 110 kilometre olduğunu göstermekte. Bu, her iki gökadada da büyük bozulmalara neden olacak, ancak her ne kadar gezegen sistemlerinin ayrıklığı 0,001 ışık yılı çapında olsa da, yıldızlararası ayrıklıklar genellikle ışık yılı mertebesinde olduğu için yıldızların doğrudan çarpışmaları epeyce nadir olacak (her biri milimetre boyutundaki kum tanelerinin onlarca metre aralıklarla yuvarlandıklarını düşündüğünüzde birbirlerine çarpmaları oldukça zordur). Ancak etkileşimin büyük kısmı, doğrudan çarpışmalar yerine kütleçekimin "bir mesafe boyunca" etkisiyle gerçekleşeceği için, Güneş sistemimizin herhangi bir hasar almadan sağ çıkması olası. O tanıdık takımyıldızların tamamen altüst oluşunun Dünya'dan görünümü muhteşem olacaktır. Ne var ki aşırı büyük uzaklıklar işin içine girdiği için bu sahne yavaşça meydana gelecek. Dünya'daki astronomlar, milyarlarca yıldan fazla bir süre boyunca Andromeda'nın yaklaşımını ölçmeye devam ederek takip edebilecek. Devasa bir sarmal gökadanın bize doğru yaklaşmakta olduğu gün yüzüne çıktığında bile, günlük hareketi bizim için fark edilebilir düzeyde olmayacak. Gözlemciler yavaşça Andromeda'nın esnediğini ve Samanyolu'nun kütleçekimiyle bozulmakta olduğunu fark ederken, bizim gökadamızın da Andromeda'nın kütleçekiminden aynı şekilde etkilenmesiyle gökyüzümüz sonsuza dek yepyeni bir hal alacak.

Günümüzden 7 ile 8 milyar yıl sonra gerçekleşecek olan Güneş'in ölümü ise bundan çok daha vahim. Her ne kadar Güneş'imiz bir süpernova olarak patlayabilecek kadar büyük olmasa da, ömrünün sonuna yaklaştığında bir kırmızı dev olana dek şişecek

ve gezegenimizi yutup yüzeyini yakıp kül ederek Dünya'yı alaşağı edecek.

Güneş, ısısını şimdilik çekirdek kaynaşma tepkimeleriyle çekirdeğinde hidrojeni helyuma çevirerek sağlamakta ve bu süreçte aşırı miktarda enerji açığa çıkarmakta. Ama çekirdekteki hidrojen bittiği zaman Güneş çökmeye başlayacak. Yıldızın geri kalanını ısıtan bu süreç nedeniyle hidrojen çekirdek etrafındaki bir katmanı tutuşturacak şekilde yanacak. Bu katman çekirdekten de fazla bir hacme sahip olduğu için, bu ikinci dalga çekirdek kaynaşmasıyla açığa çıkan aşırı miktardaki enerji, Güneş'in şimdikinin 200 katından da fazla büyümesine neden olacak. Bu uzak gelecek gerçekleşene kadar başka yıldız sistemlerinde kolonileşeceğimizi ya da en azından Dünya'dan ayrılmanın yolunu bulacağımızı umalım. Çünkü bu bizim gezegenimiz için kesinlikle yolun sonu olacak; Venüs'ün bugünkü yüzey sıcaklığından da fazla sıcaklıklarla kavrulacak ve nihayetinde genişleyen Güneş tarafından yutulacağız.

Güneş, bu defa helyumun yanarak karbona dönüştüğü çekirdek tepkimeleri merkezde yeniden bir tutuşmayla başlayana dek, birkaç milyar yıl daha kırmızı dev olarak yaşamına devam edecek. Birkaç yüz milyon yıldan biraz fazla süren bu evrenin ardından hidrojen ve helyum çekirdek kaynaşmaları, merkezin etrafında başka katmanların tutuşmasına neden olacak. Yanmakta olan bu katmanlar arasındaki karmaşık etkileşimler, yıldızın büyüklüğünde zonklamaya neden olur. Gittikçe büyüyen zonklamalar, nihayetinde Güneş en dış katmanını tamamıyla uzaya saçana kadar devam eder. Ortaya çıkan şey, merkezinde Güneş'in aşırı ısınmış karbon çekirdeği olan beyaz cücenin aydınlattığı bir gaz ve toz bulutu, yani *gezegenimsi bulutsu*dur[1] (bkz. 149. sayfa). Bulutsu birkaç bin yıl içinde dağılacak olsa da beyaz cüce soğuyup kara cüce

1 Planetary nebula. (ç.n.)

olarak nihayetinde tamamen görünmez hale gelmeden önce, trilyonlarca yıl boyunca görünmeye devam edecek.

Bir de evrendeki diğer akıllı yaşamla neden hâlâ iletişim haline geçmemiş olduğumuzu açıklamaya çalışan *özyıkım hipotezi*[1] var. Buna göre insanlar eğer gelip geçiciyse yaşam formları, güçlü teknolojileri (kendimizinkilerden örnek vermek gerekirse; nükleer enerji, roket itki kuvvetleri ve yapay zekâ gibi) henüz onları bilinçli bir şekilde yönetecek bilgeliğe erişmeksizin geliştirmeye meyilli oldukları için nihayetinde kendi kendinin sonunu hazırlar.

Gelin yine de iyi yanından bakalım ve tüm bu afetleri atlattığımızı varsayalım. Eğer hâlâ buralarda olabilirsek Büyük Çöküş nasıl görünür? Görünüşe göre Armageddon görece sessiz başlayacak. Evrenin genişlemesi yavaşlayacak ve bundan yaklaşık 5 ile 10 milyar yıl sonra nihayet sıfıra erişecek. Bu anda evren ne genişler ne de büzülür, tıpkı yerden havaya attığımız bir topun, rotasındaki en yüksek noktaya erişip Dünya'ya geri düşmeden önce bir an duraksadığı gibi asılı durur.

Evrenin büzülmeye başlaması kaçınılmaz olsa da, bu çok yavaş olacak ve Dünya'dan bakınca fark edilmesi çok uzun zaman alacak. Hubble Kanunu sayesinde bir gökada ister bizden uzaklaşsın ister bize yaklaşsın, uzaklığı ile Hubble sabitinin (H) çarpımı sayesinde hareket hızının elde edildiğini biliyoruz. Yeni hızdaki değişim, milyonlarca ışık yılı gibi büyük uzaklık ölçeklerinde daha çok belirgin olacak. Ancak bu kadar uzak cisimlerden çıkan ışığın bize gelmesi de milyonlarca yıl sürdüğü için, bu durum olur olmaz ya da en azından ışık yola çıkmadan farkına varmamız mümkün olmayacak.

Gelecekteki astronomların fark edecekleri ilk şey, uzak gökadaların kırmızıya kaymasının önceki kadar fazla olmadığı, gökadaların bizden uzaklaşma hızlarının yavaşlıyormuş gibi görün-

1 Self-destruction hypothesis. (ç.n.)

düğü olacaktır. Dünya da Güneş sistemi de Güneş'in ölümüyle o zamana kadar çoktan yok olacağı için, astronomlar artık her neredelerse, gözlemlerini milyonlar ya da milyarlarca yıl öncekilerle kıyasladıklarında zaman içinde kozmik genişlemenin büzülmeye dönüştüğünü görecekler. Evrenin yeni bir büzülme dönemine girmesiyle, uzaklaşmaları sona eren ve yeniden birbirlerine yaklaşmaya başlayan gökadaların kırmızıya kaymaları da maviye kayma halini alacak, yani ışık daha uzun olan kırmızı dalga boylarına doğru esnemek yerine daha kısa olan mavi dalga boylarına doğru sıkışacak.

Yirminci yüzyıldan yirmi birinci yüzyıl başlarına kadar kozmologların can çekişerek oluşturdukları evrenin geçmişi şimdi başa dönmüş oldu. Gökadaların gitgide yakınlaşmasıyla gökyüzü de daha aydınlık bir hal aldı. Tıpkı düşmekte olan bir asansör gibi, evrenin kütleçekimsel alanının etkisi altındaki büzülme hızı durmaksızın artmakta. Milyarlarca yıllık kozmik genişleme ve seyrelmenin etkisiyle aşırı derecede soğuyan Büyük Patlama'nın ısısı olan kozmik mikrodalga arka plan ışıması, büzülen evren sayesinde yeniden ısınmaya başlıyor. Nihayetinde sıcaklığı yıldızlarınkinden bile yüksek hale geliyor ve yıldızların içindeki çekirdek tepkimeleriyle üretilen ısının salınmasına imkân vermediği için yıldızların parçalanmalarına neden oluyor.

Gezegenler kaynayarak cehennemde yanıyor. Ve tabii ki tüm bunlar evrenin sıcaklığı yavaşça artarken ağır ağır gerçekleşiyor. Gaz devi gezegenler yavaşça çözünüyor ve parçaları farklı yerlere sürükleniyor. Sıvı okyanuslar kaynayıp gidiyor. Ve karasal gezegenler de nihayetinde eriyip çözünmeden önce çıtır çıtır kavruluyor.

Bu esnada gökadalar çarpışıp birleşirken merkezlerindeki dev karadelikler bütün maddeyi afiyetle yiyip bitiriyor. Bu vahşi senaryonun Samanyolu ile Andromeda'nın daha önce bahsettiğimiz yumuşacık çarpışmasına benzer hiçbir yanı yok. O çarpışma, iki

gökadanın birbiriyle karşılaşmasıydı. Ancak Büyük Çöküş esnasında gökadaların etrafındaki evren büzüştüğü için gökadalar da birleşmeye mecbur kalıyor. Gökada boyutlarındaki karadelikler kısa zaman sonra kümeler ve süperkümeler boyutlarına erişecek kadar kaynaşıyorlar. Büyük Patlama'dan ortaya çıkan evren içinde her yere eşit dağılmış madde çok pürüzsüzdü, ancak sonrasında yoğunlaşmaya, gökadalar ve diğer yapıları oluşturacak şekilde bölmelenmeye başlamıştı. Bunun aksine, çeşitli büyüklüklerde karadeliklerde kümelenmiş olan madde yüzünden oldukça pürüzlü olan evrenin kaderine razı gelerek Büyük Çöküş ile çökmesi aşırı derecede topaklı ve engebeli olacak. Gerçekten de evrenin Büyük Çöküş ile çökme sürecini Büyük Patlama filminin tersten oynatılması gibi düşünmek çok cazip olsa da, işin aslı ancak bu kadar farklı olabilirdi.

Bir karadelik tarafından yutulmamayı başarabilecek kadar şanslı olan tüm maddeler, kendisini oluşturmakta olan parçacıklara ayrılacak. Atomlar ve moleküller de proton, nötron ve elektronlara parçalanacak. Ve çok geçmeden bunlar da kuarklarına ve belki de sicimler gibi daha da küçük kuantum parçacıklarına ufalanacak. En sonunda, Büyük Patlama ile meydana gelmiş doğa kanunlarının müsebbibi olan parçacık fiziği süreçleri tersine dönecek. Kozmik evre geçişleri gerisin geri sökülecek ve doğanın simetrisi yeniden sağlanarak, evren ikinci Planck evresine girerken tüm kuvvetlerin birleşerek süperkuvveti oluşturması mümkün olacak. Ardından kâinat, doğduğu kadar çabuk bir şekilde kendi kütleçekimi altında içe emilecek ve yok olacak. Tıpkı hiçlikten doğmuş olabileceği gibi şimdi de aynı şeye, hiçliğe dönüşebilecek.

Bazı kozmologlar biraz daha az karamsar bir bakışı tercih ediyor. Toptan ortadan kaybolmak yerine çöken evrenin geri sekebileceğini, kozmik genişlemede yeniden Büyük Patlama'ya benzer bir evreyle anka kuşu misali küllerinden doğabileceğini tartışıyor-

lar. Lazarus gibi öldükten sonra dirilen böylesi bir evren Büyük Sıçrama[1] olarak anılıyor. Evrenimizin ve belki de uygarlığımızın bazı cansız miraslarının bir sonraki genişleme safhasına varabileceğine dair bu avuntu memnuniyetle karşılanmakta. Ve bugünkü evrenin kendinden önceki mukimlerinden kalma malzemeyi barındırma ihtimalini düşünmek de oldukça cezbedici.

Eğer evren Büyük Çöküş'ten geri sıçrayabilirse bunu birçok defa yapabileceğine inanmamak için hiçbir nedenimiz yok. Bunun gibi döngüsel kozmolojik modeller, Babilliler ve Mısırlılar gibi bazı antik uygarlıkların, evrenin tek bir başlangıcı değil de doğum, ölüm ve yeniden dirilme çevriminde birçok döngüye sahip olduğu evren görüşünün bir yankısı sayılabilir. Döngüsel evrenler 1920'lerin sonlarında Einstein ve diğerleri tarafından ele alınmıştı ancak kozmik enflasyonun kabulü ve karanlık enerjinin keşfinden sonra gözden düştüler çünkü bunlar evrenin genişlemesini hızlandırmaya meyillidir.

Kimse geri sıçrayan bir evrenin ardında nasıl bir mekanizma olabileceğinden emin değil. Hawking ve Penrose'un (bkz. üçüncü bölüm) tekillik kuramları, böylesi maddesel bir evrenin sonsuz yoğun bir nokta haline gelene dek çökmeye devam etmesi gerektiğini söylüyor. (Yoğunluk dediğimiz şeyin, kütlenin hacme bölümesi olduğunu hatırlayalım. Büyük Çöküş'ün had safhasında hacim sıfıra düştüğü için yoğunluk gitgide artar ve en sonunda sonsuza ulaşır.) Bu kuramların tamamen klasik genel göreliliğe dayandığını ve kuantum fiziğini hiçbir şekilde hesaba katmadıklarını tartışmıştık. Büyük Çöküş esnasında evren, kuantum kanunları ve kütleçekimin bir arada var olduğu embriyonik Planck evresine benzer bir hale geri dönecek. Onuncu bölümde anlattığımız Planck evresini modellemek için harcanan tüm çabalara rağmen bu süreçteki fiziğe oldukça yabancıyız. Bu süreçte kütleçekimin,

1 Big Bounce. (ç.n.)

kutupluluğun anahtarına sahip olarak evreni yeni bir genişleme safhasına taşıyabileceği bazı mekanizmaların mevcut olması kesinlikle mümkün. Ne de olsa, evrenin ilk zamanlarında maddesel alanların kozmik enflasyon olgusuna güç veren negatif basınç ve itici kütleçekim kuvveti yaratabildiğini görmüştük. Evreni Büyük Patlama'nın tekilliğinden kurtaran öncelikle bu oldu ve tabii ki Büyük Patlama'nın modern hali astronomik gözlemlerle uyumlu olabilmek için enflasyona dayanmak zorunda kaldı.

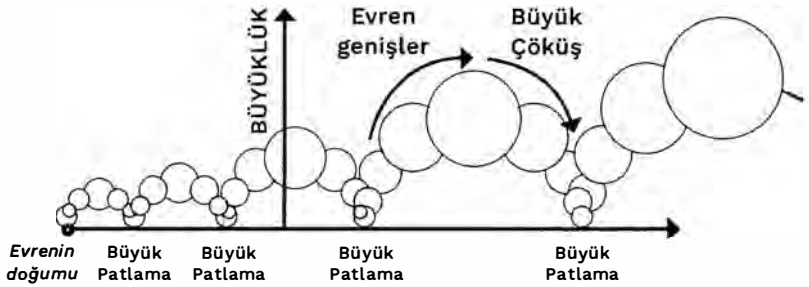
Buna dair bazı somut kanıtlar bile olabilir. Aralık 2017'de California'daki NASA ve Carnegie Observatories'te çalışan astronomlar, Büyük Patlama'dan sadece 700 milyon yıl sonrasına ait devasa bir karadelik gözlemlediklerini bildirdiler. Bu karadelik, Güneş'in kütlesinin 800 milyon katı kütleye sahip, tam da bir gökada merkezinde bulmayı bekleyebileceğimiz türden dev bir yaratıktı. Ve öyle ki, anladığımız kadarıyla, evren en azından bir milyar yıl yaşına gelmeden (hatta bundan da 300 milyon yıl sonraya kadar) gökadalar oluşmaya başlamamıştı. Sao Paulo'daki Campinas Üniversitesi'nde çalışan Brezilyalı fizikçi Juliano César Silva Neves, bu gibi karadeliklerin döngüsel evrenin önceki büzülme safhasından kurtulup genişleme evresine çıkabilmiş miraslar olabileceğini öngörmektedir. Ancak bu iddianın nasıl teyit edilebileceği veya yanlışlanabileceği henüz bilinmiyor.

Tüm cazibesine rağmen bu döngüsel evren fikrinin ciddi bir sorunu var. Bunu ilk olarak Amerikalı fizikçi Richard Tolman fark etti. Tolman, aynı zamanda Robert Oppenheimer ve George Volkov ile birlikte yaptığı karadeliğin doğasına ilişkin çalışmalar sayesinde, kütlesi Güneş kütlesinin yirmi katı civarında olan yıldızların ömürlerinin sonunda bir karadelik oluşturacak şekilde çökmeye mahkûm olduklarını ispatlayan, uygulamalı araştırmalar yürütmüş ilk kişiler arasındaydı. 1934'te, döngüsel evrenin sonunda çok düzensiz bir hal alacağını fark etti; geceleyin gökyüzünde gördüğümüz gezegenler, yıldızlar ya da gökadalar gibi düzgün ya-

pıların hiçbiri oluşmaksızın madde uzaya muntazaman dağılacaktı. Bunun nedeni evrenin ne kadar dağınık ve düzensiz olduğunun belirteci olan entropinin sürekli artması gerektiğini söyleyen, termodinamiğin ikinci kanunudur.

Entropi ve termodinamiğin ikinci kanununu, üçüncü bölümde çalışma masamın dağınıklığının zamanla derli toplu bir hale gelmek yerine arttığı örneğiyle tanımıştık. Termodinamiğin ikinci kanununun, Fred Hoyle'un Büyük Patlama'ya rakip olan ve varlığını 1960'lara kadar sürdürebilen Durağan Hal Kuramı'na sıkılan son kurşunlardan biri olduğunu gördük. Durağan Hal Kuramı evrenin sonsuza dek var olacağını söylese de, durum böyle olsaydı termodinamiğin ikinci kanunu şimdiye dek bunu tamamıyla karman çorman etmiş olurdu; tüm madde, parçacıklar ve ışınımdan oluşan biçimsiz bir çorbaya dönerdi. Böyle bir şey görmeyişimiz, evrenin sonsuz yaşlı olamayacağı ve kısmen bu nedenle Durağan Hal Kuramı'nın yanlış olması gerektiği anlamına gelir.

Eğer döngülü bir evrende yaşıyorsak, ufak bir farkla aynı şey burada da geçerli olacaktır. Önemli olan evrendeki mutlak entropi miktarı değil, entropi *yoğunluğu*, yani entropinin ne kadar yoğunlaştığıdır. Eğer masamdaki dağınıklığın bir kısmını alıp salona koyar, bir kısmını mutfağa ve belki birazını da koridora bırakırsam, ev arkadaşımın gazabına maruz kalacak olmama rağmen yakın çevremdeki şeyleri biraz olsun düzenleyerek masamın entropisini azaltabilirim. Benzer şekilde, döngüsel bir evren her çevrimde biraz daha büyüyerek entropi faciasından sıyrılabilir; bu sayede her sıçramada üretilen fazladan entropi seyreltilmiş olur. Ancak bu, sadece sorunun yer değiştirmesini sağlar. Çünkü bu durumda da, her seferinde bir öncekinden daha büyük çevrimler elde edersiniz ve bu, zamanda geriye doğru çıkarım yapacak olduğunuzda çevrimlerin büyüklüğünün sıfır olduğu bir ânın varlığına işaret eder. Bu da, bir başlangıç olması gerektiği anlamına geldiği için, sonsuz döngüsel evren olgusunu yerle bir eder.



Döngüsel bir evrende her çevrim daha da büyürse artan entropi seyreltilebilir. Ancak bu durum da evrenin ezelden beri bu şekilde salınamayacağını, bir başlangıcı olması gerektiğini ima eder.

1980'lerde Hawking, döngüsel evrenlere gelen bu itiraza, termodinamiğin ikinci kanununun evrenin büzülme evresinde tersine döndüğünü ve evren büzüldükçe entropinin küçüldüğünü ispatlayarak bir çare bulabileceğini iddia etti. Kuzey kutbunun Büyük Patlama'yı temsil ettiği şekilde (kuzey kutbundan daha kuzeyde hiçbir yer olamayışı zamanın başlangıcına karşılık gelirken) evreni Dünya'nın yüzeyiyle kıyaslayarak yaptığımız benzetmeyi hatırlarsanız, Hawking de Büyük Çöküş'ü güney kutbu olarak ele aldı (ve güney kutbundan daha güneyde hiçbir şey olmayışı da zamanın sonuna karşılık gelmekte). Simetriyi temel alarak Hawking, bu iki uç durumun temelde aynı olması gerektiğine inanıyordu, yani evren doğarkenki düşük entropi durumuna geri çökmeliydi.

Eğer haklıysa ve entropi gerçekten de büzülen evrenle birlikte azalıyorsa, bu gerçekten de içinde yaşaması oldukça garip bir ortam olacaktı. İnsanlar yaşlı başladıkları hayatlarını gittikçe gençleşerek, tersine yaşayacaklardı. Kırılmış tabak çanaklar durup dururken yerden havalanıp kendi kendilerine birleşerek tek parça tabak ve fincanlar oluşturacaklardı. Neyse ki çalışma masam kendi kendini düzenleyecek ve bu kitabı yazmamak gibi

önemsiz olmayan bir görev üzerinde çalışırken ortalığı dağıtmak için en iyi girişimlerimi boşa çıkaracaktı.

Ancak Hawking'in öğrencisi Raymond Laflamme, problemin içine daldığında fizik kanunlarının ayar kabul etmediğini gördü. Hesaplamaları, kapalı evrenin genişleme ve büzülme evrelerinin temelden farklı olduğunu, birbirleri arasında bir simetri olmadığını ve evrenin entropisinin, dur durak dinlemeden sürekli arttığını ortaya çıkardı. Hawking yanılmıştı. Einstein'ın "en büyük gafım" diye bahsettiği kozmoloji sabitine benzeterek (her ne kadar daha sonra bunun hata olmadığı ortaya çıkmış olsa da - bkz. yedinci bölüm) herkesin önünde hatasını kabul etti.

Daha yakın zamanda ise fizikçiler döngüsel evrenin düzgün çalışabileceği, sicim kuramına dayanan modern bir yol buldular. 2001'de fizikçi Paul Steinhardt, Neil Turok ve meslektaşları, "yangın felaketi" anlamına gelen ve Yunanca *ekpyrosis* kelimesinden türetilerek *kavrulmuş (ekpirotik) evren kuramı*[1] adını verdikleri bir fikir öne sürdüler. Sicim kuramına göre evrenin üç uzay ve bir zaman boyutundan fazla boyutu mevcut (ve bu boyutlar görüşümüzün ötesine saklanmış ya da sıkıştırılmış - bkz. 214. sayfa). Kavrulmuş kuram, hücre zarının[2] kısaltması olarak *çeper*[3] diye bilinen, bizimkine benzer ama bizimkinden tamamıyla ayrı, üç boyutlu başka bir evrenin var olduğunu farz eder. Bu hücre ile bizimki birbirine paralel konumdadır. Üç boyutlu uzaylardan bahsederken "paralel" demenin ne kadar garip olduğunun farkındayım, o yüzden eğer işinizi kolaylaştıracaksa bunları iki boyutlu uzay tabakaları olarak düşünebilirsiniz. Çeperler arası boşluk metrenin bin milyar milyar milyarda biri kadardır. Fazla bir mesafe gibi gelmese de her biri bundan yaklaşık 100.000 kat daha küçük olan temel sicim ilmeklerinin büyüklüğüyle kıyaslandığında arada büyük fark

1 Ekpyrotic universe theory. (ç.n.)
2 Membrane. (ç.n.)
3 Brane. (ç.n.)

vardır. Çeperler, kavrulmuş kuramın kolayca açıkladığı karanlık enerjinin etkisi sayesinde ileri geri salınırlar ve alkışlayan eller gibi periyodik olarak birbirleriyle çarpışırlar. Bu düzenli çarpışmalar, aralarına yeniden doğma anları serpiştirilmiş ısınma ve soğuma çevrimleri olarak kendini gösterir; yani çevrimsel bir evrendir.

Çoğu çevrimlilik iki çeperi birbirinden ayıran fazladan bir boyutta gerçekleştiği için bu model entropi sorununun üstesinden gelebilmektedir. Bunlar arasındaki boyut daralınca bizim üç boyutlu çeperimizin içindeki fiziksel uzay çok az büzülür ve geri kalan zamanın büyük kısmında da karanlık enerji sayesinde hızlanarak genişlemeye devam eder. Böylelikle evrenin entropi yoğunluğunun kabul edilemez ölçüde artması engellenmiş olur.

Kavrulmuş modelin detayları biraz zorlama gibi görünse de bir bakımdan mevcut Büyük Patlama modelinin enflasyona ne kadar bağımlı olduğu göz önüne alındığında daha basit bir önermedir. Doğaldır ki kavrulmuş evren, herhangi bir ufuk problemi veya düzlük probleminden mustarip olmaksızın (bkz. sekizinci bölüm) uzamsal olarak düz ve pürüzsüz bir evren göreceğimizi öngörür. Hepsinden önce, sayısız çevrim boyunca varlığını sürdürmüş bir evren, büzüldüğü evrelerde tüm köşelerinin bir araya gelip sonra yeniden açılıp defalarca altüst olmasıyla homojenize hale geleceği için, doğal olarak ortada ufuk sorunu diye bir şey kalmaz. İki çeperin bazlama gibi tekrar tekrar çarpışarak düz kalmalarının sağlanması da düzlük sorununu çözer. Evrenin, çeperlerin çarpışmasıyla bir miktar ısınmadan önce, her çevrim başlangıcında epeyce soğuk halde olması sayesinde tek kutuplu sorununun bile icabına bakılmıştır. Bu durumda evrenin sıcaklığı asla evre geçişlerini tetikleyecek kadar yükselmeyeceğine göre, tek kutuplar da daha en baştan oluşmayacak demektir.

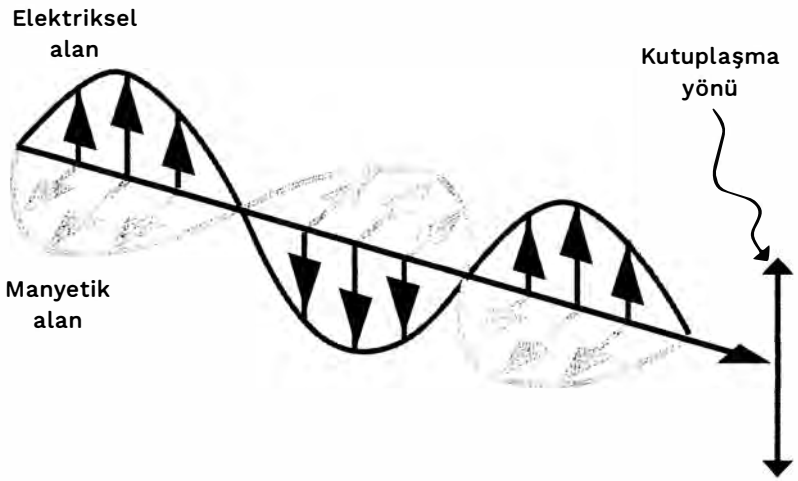
Standart Büyük Patlama modelinde gökadaların filizlendiği tohumlar, Büyük Patlama kuramında evrenin modern gözlemlerle uyuşmasında kilit bir eklenti olan enflasyon sayesinde, atomaltı

dünyadan gökadaların büyüklüklerine ve daha da ötesine kadar şişen kuantumsal dalgalanmalardı. Kavrulmuş kuramda bu tohumlar iki çeperin çarpışmasıyla oluşan madde yoğunluğundaki dalgalanmalardan kaynaklanmakta. Standart sıcak Büyük Patlama modelindeki gibi, bu yoğunluk çeşitlilikleri bugün mikrodalga arka plan ışınımında görülen sıcaklık dalgalanmalarına dönüşmüş olabilecekti. Hesaplamalar yine tıpkı Büyük Patlama modelinde olduğu gibi, öngörülen büyüklük ve dağılımlarının CMB'de gözlemlenen sıcaklık çeşitlilikleriyle uyumlu olduğunu öne sürmekte (bkz. dördüncü bölüm). Gerçekten de bu ve gözlemlenen evrenin geri kalanı her iki modelde de ufak farklılıklar hariç oldukça benzer görünüyor.

Mikrodalga arka plan sıcaklığındaki en küçük izleri oluşturanlar, madde yoğunluğundaki tedirginliklerdir. Ancak CMB'de evrenin ilk zamanlarındaki kütleçekimsel dalgalardan kalma bir sinyal daha var. Tıpkı enflasyonun, madde yoğunluğundaki ufak kuantum dalgalanmalarını güçlendirerek, CMB'deki yoğunluk tedirginliklerine neden olması gibi, kütleçekim şiddetindeki doğal dalgalanmalara da aynı şeyi yaparak, CMB'de kendi izlerini bırakmış Büyük Patlama'dan gelen kütleçekimsel dalgaların arka planını oluşturacaktı. En önemlisi, bu kütleçekimsel dalga tedirginlikleri kavrulmuş modelde mevcut olmadıkları ya da en azından gözden kaybolabilecek kadar küçük oldukları için, kuramın sınanmasını mümkün kılan bir yöntem sağlıyorlar.

Kütleçekimsel dalga tedirginlikleri evrenin ilk zamanlarında mevcut olsaydı, izleri mikrodalga arka planın kutuplaşmasında görülürdü. Işık dalgaları ve tabii ki mikrodalgalar da birbirine dik açıda titreşen elektrik ve manyetik alandan oluşur. Kutuplaşma, dalga uzayda hareket ettikçe elektrik alanın titreştiği düzlemin diğer bir adıdır.

E modları ve *B modları* olarak bilinen desenleri oluşturan CMB mikrodalgaların kutuplaşması, gökyüzünde nereye baktığınıza göre

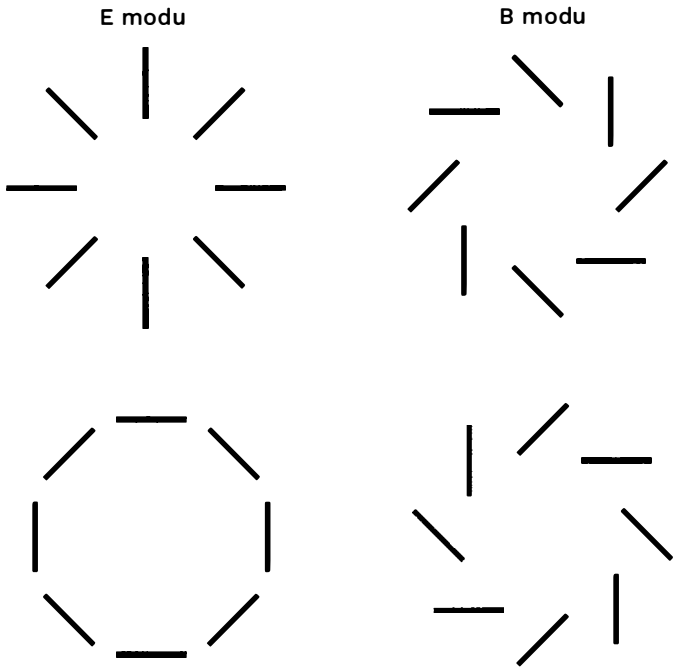


Bir elektromanyetik dalga, birbirine dik açılarda titreşen elektriksel ve manyetik alandan oluşur. Dalganın kutuplaşması sadece elektriksel alanın titreşme doğrultusudur.

değişir. E modları radyal veya dairesel desenler göstermeye meyillidir. Öte yandan B modları kendi üzerine bükülen girdap benzeri yapılar oluşturur. Evrenin ilk zamanlarındaki temel yoğunluk tedirginlikleri CMB'de sadece E modlarına neden olurken, kütleçekimsel dalgalar her iki türü de oluşturmalıdır. B modlarının varlığının onaylanması, kütleçekimsel dalga tedirginliklerinin varlığını işaret eder, böylelikle de enflasyon ve Büyük Patlama kuramını destekler ancak bunların yokluğu kavrulmuş modeli destekleyecektir.

Mart 2014'te güney kutbu yakınlarında BICEP2 (Kozmik Gökada Dışı Kutuplaşma Arka Planının Görüntülenmesi)[1] adlı bir deney üzerinde çalışan bilim insanları, CMB'de B modlarını keşfettiklerini duyurdular. Ancak aynı yılın Eylül ayında, gördükleri şeyin CMB sinyalini kirleten kozmik toz tarafından meydana geldiği ortaya çıktı; yanılmışlardı. Bugün hâlâ B modlarının mikrodalga arka plan ışınımında bulunması bekleniyor, yani döngü-

1 Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization. (ç.n.)



Mikrodalga arka plan fotonları E modları ve B modları olarak kutuplaşır. E modları dairesel veya radyal desenler oluştururken B modları CMB'de kendilerine özgü sarmallar oluşturur.

sel kavrulmuş bir evrende yaşıyor olma ihtimalimiz hâlâ var. Yer tabanlı bir proje hâlâ devam ediyor. Büyük Açısal Ölçekli Kozmolojik Tarayıcı[1] 2016 Mayıs'ında beş yıllık bir CMB kutuplaşma araştırmasına başladı ve ilk sonuçların 2020'nin başlarında elde edilmesi bekleniyor. Bu sırada 2020-2030 aralığında CMB kutuplaşmasını araştıracak bir dizi uzay görevi de planlanıyor.

Kavrulmuş model haklı çıkacak olursa, evrenimizin, yani evrenin bu ebedi resminde yer alan çevrimimizin son günleri fırında geçecek demektir. Her ne kadar üç boyutlu uzayımız geleneksel

1 Cosmology Large Angular Scale Surveyor. (ç.n.)

Büyük Çöküş'teki gibi yıkılmayacak olsa da, çeperimizin komşularıyla her birkaç trilyon yılda bir çarpışması sayesinde Büyük Patlama'ların periyodik ısınmaları eninde sonunda her şeyi kavuracak; gezegenleri, yıldızları, gökadaları ve gökada kümelerini en temel bileşenlerine ayrılana dek pişirecek ve evreni her şeyin başladığı sıcak, yoğun hale geri getirecek.

Peki ya evren döngüsel değilse ve kaderinde hiçbir şekilde, hiçbir yolla veya hiçbir surette yeniden çökmek yoksa? Ya bunun yerine evrenimiz sonsuza dek genişleyecek, sonu gelmeksizin gitgide büyüyecek ve büyüyecekse? Peki ya sonra? Kimileri solup gitmektense yanarak tükenmenin daha iyi olduğunu düşünüyor. Bir sonraki bölümü okuyunca siz de onlara hak verebilirsiniz.

ON ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Uzun Karanlık Sonsuzluk

"100 milyar yıl içinde evren çok garip bir yer halini alacak."

John C. Mather

Eğer Büyük Çöküş'ün cehennem azabı çok apokaliptik görünüyorsa, daha narin bir alternatif senaryo olan Isısal Ölüm ilginizi çekebilir. Bu defa evren hiç ölmüyor ancak uzayın genişlemesi durmadan ve durmadan, sonsuza dek ilerledikçe evren de yavaş yavaş solarak karanlığa karışıyor.

Mevcut astronomik kanıtlara bakılırsa, evrenimizin en olası kaderi bu. Karanlık enerjinin yokluğunda, evrendeki madde ve enerji içeriğinin kritik yoğunluk adı verilen değere eş veya ondan az olduğu durumda evrenin durmaksızın genişleyeceğini gördük (bkz. üçüncü bölüm). Bu senaryoda evrenin Büyük Çöküş ile kendi üzerine yığılmasına neden olacak kadar kütleçekim bulunmuyor. CMB ışınımı üzerine ESA'nın Planck uzay aracıyla elde ettiği veriler kullanılarak yapılan çalışmaların evrenimizin kritik yoğunluğun yaklaşık 0,999'una karşılık geldiğini öngörüyor olması, evrenin gerçekten de sonsuza dek genişleyeceği anlamına geliyor (bkz. 152. sayfa).

Üstelik bu, kütleitim etkisiyle uzayın genişlemesini hızlandıran karanlık enerjinin hesaba katılmamış hali. Evrenin yoğunluğu

kritik değeri aşsa bile, karanlık enerjinden gelen ilave itki yine de onun sonsuza dek genişlemesine neden olabilir. Önceki bölümde değinmiş olduğumuz gibi, Isısal Ölüm'ün önüne geçebilecek tek şey ancak karanlık enerjinin doğasında kökten bir değişim olabilir; örneğin gelecekte bir zamanda kutupluluğu kütleçekimsel olarak çekici hale çevirmesi gibi. Karanlık enerji ve çalışma mekanizması hakkında ne kadar az şey bildiğimiz göz önüne alınırsa bunu tamamen eleyemeyiz. Ancak bu bölüm için karanlık enerjinin kütleitimli olduğunu ve evrenin de insafsızca durmaksızın genişleyen bir geleceği olduğunu varsayacağız.

Ebediyen genişleyen evrenin geleceğine ilişkin ilk kapsamlı çalışmalardan biri, bulgularını 1999 yılında, *Evrenin Beş Çağı*[1] adlı kitapta derleyen Amerikalı kozmolog Fred Adams ve Gregory Laughlin tarafından gerçekleştirildi. Kitap adının da söylediği gibi kozmik geçmişi beş ana devre bölmüşlerdi. İlk devir ilkel çağ olarak biliniyor. Büyük Patlama ile başlayıp, evren birkaç yüz yıl yaşına gelene kadar devam eden bu kozmik zaman dilimiyle daha önce karşılaşmıştık. Evren bu dönemde doğdu. Doğadaki kuvvetler belirgin olgular olarak birbirinden ayrıldı. Daha sonra gökadaların filizleneceği yoğunluk dalgalanmalarının tohumlarını atan enflasyon meydana geldi. Büyük Patlama'dan çıkan parçacık çorbasının ilk kimyasal elementlere dönüşmesini sağlayan çekirdek oluşumları gerçekleşti. Nihayet evren ışınımsal olarak şeffaflaştı, mikrodalga arka plan ışınımının uzayda özgürce dolaşmasına imkân verdi. Evrendeki ilk yıldızların oluşmasıyla ilkel çağ sona erdi.

Bu Öbek III yıldızları (bkz. dokuzuncu bölüm) ilk kez Büyük Patlama'dan 180 milyon yıl sonra tutuşan yıldızlardı. Görülmeye başlamalarının ardından Adams ve Laughlin'in ikinci kozmik çağı olan *yıldızlı çağ*[2] yani yıldızlarla dolu dönem başladı. Büyük

1 The Five Ages of the Universe. (ç.n.)
2 Stelliferous era. (ç.n.)

Patlama'dan yaklaşık 13,8 milyar yıl sonrasına denk gelen bu dönem, haliyle bizim de içinde bulunduğumuz zamanı ifade ediyor. Bu dönemde, her birinin iç kısımlarındaki çekirdek kaynaşma tepkimeleriyle meydana gelen kimyasal elementlerin yanması sayesinde, bir fener gibi parlayan yıldızlarla dolu gökadalar evreni aydınlatıyor.

Yıldızlar sonsuza dek var olamaz. Nihayetinde yakıtları biter, iç kısımda gerçekleşen çekirdek tepkimeleri sona erer ve ölürler. Yeni nesil yıldızlar sürekli oluşmaya devam eder. Örneğin Hubble Uzay Teleskobu, içinde yeni nesil yıldızların yoğunlaşarak henüz parlamaya başladığı dev hidrojen gazı bulutlarının büyüleyici görüntülerini elde etti. Ancak bu süreç de sonsuza dek devam edemez. Evrendeki yıldız hammaddeleri olan hidrojen ve helyum elementleri nihayetinde tükendiğinde, artık daha fazla yıldız oluşamaz ve bu noktada yıldızlı çağ sona erer. Evren yaklaşık 100.000 milyar yıl yaşına geldiğinde bunun olması bekleniyor. Diğer bir deyişle evrenin yaşı şimdikinin 7000 katına varmadan böyle bir şey olmayacak.

Yıldızlı çağda çok daha fazla şey olacak. 4 milyar yıl içinde Samanyolu ile Andromeda gökadaları çarpışacak. Bunun en olası sonucu her ne kadar sarmal yapıları tamamıyla bozularak düzensiz, biçimsiz bir yıldızlar yumağı haline gelecek olsalar da, bu iki gökadanın birleşip yeni bir gökada oluşturması olacak. Önceki bölümde tartıştığımız gibi, yıldızların birbirleriyle doğrudan çarpışmaları çok nadir rastlanan bir durum olacağı için Güneş ve Güneş sistemi muhtemelen bu çarpışmadan sağ çıkacak (bkz. 232. sayfa).

Tüm bunlar olurken uzay genişlemekte ve gökadaları bizden uzağa taşımakta. Ne kadar uzaklaşırlarsa o kadar hızlanırlar ve ışıkları da o kadar kırmızıya kaydığı için görülmeleri daha zor hale gelir; bizden uzaklaşma hızları ışık hızına eriştiğinde ise nihayetinde gözden kaybolurlar. Evren 150 milyar yıl yaşına geldiğinde yıldızlı çağ devam ederken, Yerel Grup ötesindeki gökadalar (bkz.

dokuzuncu bölüm) gözlemlenebilir evrenin kıyısına ulaşmış olacak. Sönükleşirlerken onları görmeye devam edebilmemize rağmen, en sonunda erişilemez hale gelecekler ve bu andan sonra onlardan sinyal alabilmemiz imkânsızlaşacak. Önceki bölümde görmüş olduğumuz gibi, bu zaman geldiğinde Güneş sisteminin ölümü esnasında Güneş'in genişleyerek yuttuğu Dünya, bundan milyarlarca yıl önce çoktan yok olmuş olacak. İnsanlığın vârisleri ise belki başka bir gezegene yerleşmiş belki de uzayda koloniler inşa etmiş olabilir. Onların arasındaki astronomlar tüm gökadaların birer birer gözden kaybolarak, Samanyolu'nun kainat içinde yapayalnız kaldığını gözleyecek.

Diğer değişiklikler ise hazırlık aşamasında. Evren 1000 milyarıncı doğum gününü kutlamadan önce, Yerel Grup'un kütleçekimi sayesinde tüm üyeleri tek bir dev super gökada oluşturacak şekilde birleşecek. 2000 milyar yıl içinde ise gözlemlenebilir evrenimizde görebileceğimiz tek gökada bu olacak; diğer hepsi görüşümüzün ötesine doğru kırmızıya kayacağı için artık onları göremeyeceğiz.

Sonraki binlerce milyar yıl içinde yıldızlar birer birer tükenip ölecek ve yerlerine yenileri gelmeyecek. En büyük yıldızlar gerçekten de hızlı yaşayıp genç ölecekler. Kütlesi Güneş'inkinin altmış katı civarında olanlar, kozmik bir göz açıp kapama süresi gibi Dünya'da ilk insanların ortaya çıkışından bu yana geçen zamanla kıyaslanabilecek bir sürede yani birkaç milyon yıl içinde vahşice yanarak yok olacak. Kıyaslayacak olursak Güneş'imize benzer yıldızların ömrü genellikle birkaç on milyar yıl civarındadır. Güneş'in kütlesinin onda biri civarındaki en hafifler ise, cılız bir ışıma yapmalarına karşın binlerce milyar yıl boyunca yaşamlarını sürdürürler. Tüm bunlar, Büyük Patlama'dan yaklaşık 800 milyar yıl içinde gökadamızın ve hatta artık bizim için görünmez olan diğer gökadaların da parlaklığının sönükleşmeye başlayacağı anlamına gelir.

Evren 100.000 milyar yıllık olgunluk yaşına eriştiğinde son yıldız neslindeki yaşlılar da ölecek. Böylelikle yıldızlı çağ sona erecek ve yeni ve kasvetli bir kozmik devir olan *yozlaşmış çağ*[1] başlayacak. Buradaki yozlaşmanın ahlaki değerlerle bir ilgisi yok; maddedeki atomaltı parçacıkların aşırı derece sıkı paketlenmiş olduğu çok yoğun bir hale atıfta bulunuluyor. Elektron, proton ve nötronlar gibi parçacıkların hepsi, adını 1925 yılında kuantum kuramının bir ilkesini formüle eden Avusturya doğumlu fizikçi Wolfgang Pauli'den alan ve *Pauli dışlama ilkesi*[2] adı verilen bir kuantum kuramı kanununa uyum gösterirler. Aynı enerjiye sahip parçacıkların, aynı anda aynı yerde olmaktan hoşlanmadıklarını söyleyen bu ilkeye göre, eğer parçacıkları bu duruma zorlarsanız, birbirlerinden uzaklaştıran bir fiziksel kuvvete maruz kalırlar. Ancak bu kuvveti alt edip parçacıkları aynı duruma sıkıştırmayı başarabilirseniz, ortaya çıkan maddenin yozlaşmış olduğu söylenir.

Yıldız cesetleri genellikle yozlaşmış maddeden oluşur. Normalde bir yıldız kendi ağırlığını, içindeki çekirdek tepkimelerinin ısısıyla oluşan ısısal basınçla dengeler. İçindeki gazın ısınmasıyla genişleyen bir piston düşünün. Bir yıldızın kütleçekimi ile maddenin içe doğru çekilmesi gaz basıncıyla karşılandığı için yıldız çökmez. Ancak bir yıldız nükleer yakıtı bitip de ısı üretemez hale geldiğinde ısısal basınç düşer ve çökme kaçınılmaz olur. 1930'lu yıllarda Hintli matematikçi ve astrofizikçi Subrahmanyan Chandrasekhar, kütlesi Güneş'inkinin yaklaşık 1,4 katını aşmayan yıldızlarda elektronlar arasındaki yozlaşma kuvvetinin çökmeyi durdurmaya yeterli olduğunu ve yıldızın kendi kütleçekimine karşı durabildiğini göstermiştir. Ortaya çıkan cisim tamamen yozlaşmış elektron basıncına dayanır ve beyaz cüce türü yıldızlar olarak anılır. Güneş kütlesi kadar maddeyi Dünya büyüklüğüne sıkıştırmış-

1 Degenerate era. (ç.n.)
2 Pauli exclusion principle. (ç.n.)

çasına aşırı yoğun cisimlerdir. On ikinci bölümde gördüğümüz gibi, Güneş'imiz de yaşamını böyle bir cisim olarak sonlandıracaktır.

Ancak çöken yıldızın kütlesi 1,4 Güneş kütlesinden fazlaysa yozlaşmış elektron basıncı bu görev için yeterli olmaz. Onun yerine, elektronlar komşularıyla aynı kuantum durumunu paylaşmaya mecbur kalır ve yıldız çökmeye başlar. Bu durumda protonlar ve elektronlar sıkışarak nötronları oluşturur. Yıldızın kütlesi Güneş'inkinin yaklaşık üç katından azsa, yozlaşmış nötron basıncı çökmeyi durdurmak için devreye girebilir. Ortaya çıkan cisme nötron yıldızı adı verilir. Güneş kütlesinin birkaç katı kadar maddeyi, 10 kilometre çapında bir küreye sığdırmaya benzer. Bu cisimler o kadar yoğundur ki bir litre nötron yıldızı yaklaşık bir dağla aynı ağırlıktadır. Yozlaşmış yıldızlar on milyonlarca santigrat dereceye varan aşırı yüksek sıcaklıklarda doğarlar. Her ne kadar kendi ısılarını üretecek bir mekanizmaları olmasa da, enerjilerini uzaya salarak gözden kaybolunca ya dek yavaşça soğurlar.

Yozlaşmış nötron basıncının destekleyebileceği madde miktarının bir üst limiti vardır ve Güneş kütlesinin üç katından fazla olan her şey bir uzayzaman tekilliği, bir sonsuz yoğunluk noktası, üzerine düşen hiçbir şeyin kaçamayacağı olay ufkuyla çevrelenmiş bir karadeliğe varana dek çökmeye mahkûmdur.

Yozlaşmış çağda daha önce evrendeki yıldızları oluşturan sıradan maddenin çoğu, beyaz cüce veya nötron yıldızlarının içinde yozlaşmış bir hal alır. Ancak evrenin işi henüz tamamlanmamıştır. Elektromanyetizma ile güçlü ve zayıf çekirdek kuvvetlerinin fizikte aynı temel kanunun farklı halleri olduğunu iddia eden büyük birleşik kuramlar, proton ve nötronların daha hafif temel parçacıklara ayrılarak bozunacağını öne sürer. Bunun evrenin 10.000 milyar milyar ile 1 milyar milyar milyar milyar yıl yaşı arasında bir zamanda gerçekleşeceği düşünülmektedir.

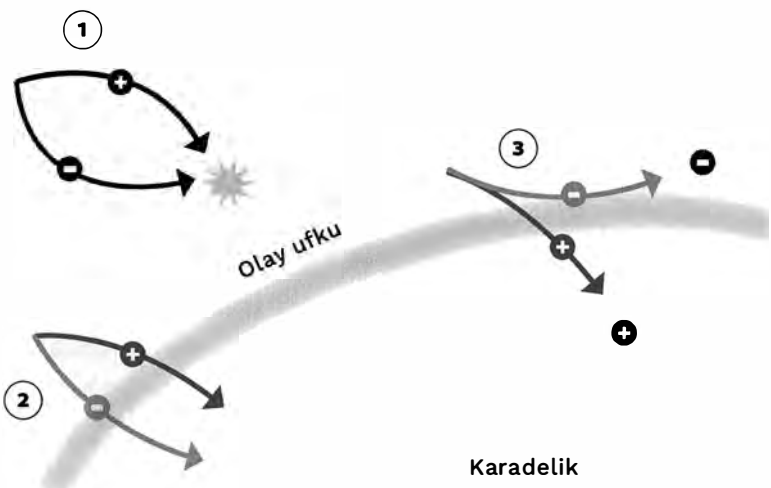
Üstelik bu, iş başındaki tek ölümcül kuvvet de değildir. Yoz-

laşmış yıldız kalıntıları aşınıp parçalandıkça, evrendeki karadelikler bu malzemeleri azar azar yer bitirir. Uzayda pusuya yatan bu kozmik çöp toplayıcılar, en ufak bir kırıntı dahi kendi karanlık kalplerinde hapsolana dek karşılarına çıkan her şeyi yalayıp yutar. Adams ve Laughlin bu sürecin, evren yaklaşık 10.000 milyar milyar milyar milyar yıl yaşına geldiğinde tamamlanacağını öne sürmektedir.

Bu sürede evren artık tamamen ve her şeyiyle karanlığa bürünmüş olacak. Tüm gökadaların kırmızıya kayma miktarı, gözlemlenebilir evrenin sınırlarının ötesine erişmekle kalmayacak, gökadamızdaki bütün yıldızlar da etraflarındaki gezegenlerle birlikte karadelikler tarafından silinip süpürülerek ortadan kaybolmuş olacak. Bir gezegenin sakinleri başlarına gelecek olanı öngörebilir. Adının aksine, karadelikler evrende bugün görünmez değiller; toplanan malzeme karadeliğe düşmeden önce ekvator civarında sarmal gökada benzeri disk şeklinde bir girdap oluşturmakta. Böylesi bir şans, uzay yolculuğundakilere, gezegenleri karadeliğin etrafını çevreleyen ve içerisindeki kütleçekimin ışığın bile kaçmasına müsaade etmeyecek kadar yüksek olduğu hayali bir küre olan olay ufkuna varmadan kaçma imkânı verecektir. Gezegen bu eşiği geçtikten sonra geri dönüş söz konusu olamaz. Gezegen, karadeliğin merkezindeki tekilliğe yaklaştıkça kütleçekimsel kuvvetler aşırı bir hızla artar. Gezegeni karşılıklı iki ucundan çekiştiren kuvvetler arasındaki fark devasa bir haldedir. Böylelikle esneyen gezegen ve üzerindeki her şey, tıpkı bir makarna şeridi gibi uzayıp bir anda tüketilir ve yok olur.

İşte bu nedenle 10.000 milyar milyar milyar milyar yıl sonra evren artık resmen karadelik çağındadır. Tabii ki sonsuza dek böyle kalmaz. Hawking'in meşhur kanıtının da ortaya koymuş olduğu gibi, karadelikler o kadar da kara değildir. Hawking'in bilimsel kariyerinin dönüm noktası, muhtemelen karadeliklerin sadece önüne çıkan her şeyi yiyip yok etmesi değil de, buna zıt bir doğ-

rultuda ufak bir parçacık ve ışınım demeti saldığını matematiksel olarak ispatlamış olmasıdır. Kuantum fiziği sayesinde sanal parçacıkların boş uzayda bir var olup bir kaybolduğunu biliyoruz. Aynı süreç, karadeliğin olay ufkunun dışında da gerçekleşir ancak sanal parçacıklar normalde kısa bir zaman sonra birbirilerini yok ederken, karadelik civarındaki bir parçacık, kimi zaman bir diğeriyle birleşme fırsatı bulamadan karadeliğin kütleçekimi tarafından emilecektir. Bu durumda, bir parçacık karadelikten kaçıp pozitif enerji taşırken, buna eş ama zıt enerjideki diğeri içeri düşer ve böylece karadeliğin kütlesi birazcık da olsa azalmış olur. Bu süreç *karadelik buharlaşması*[1] olarak bilinir.



Karadeliğin olay ufkunun ötesinde sürekli sanal parçacık çiftleri oluşur ve yok olur. Kimi zaman bir çiftin parçaları birleşirken (birinci durum), kimi zaman da her ikisi de karadeliğe düşer (ikinci durum). Nadiren de olsa parçacıklardan biri karadeliğe düşerken diğeri kaçar ve böylelikle karadelikten net bir madde ve enerji akışı oluşur. İşte bu Hawking'in karadelik buharlaşmasıdır.

1 Black-hole evaporation. (ç.n.)

Günümüzde bu süreçle karadeliklerden eksilen madde miktarı, doğal yollarla karadeliğin kütleçekimine düşen miktarla kıyaslandığında çok ufaktır. Ancak evrenin karadelik çağında, karadelikler mutlak bir tecritte oldukları için beslenebildikleri hiçbir madde olmadığından, bu karadelik buharlaşması evrendeki tüm karadeliklerdeki madde tükenene dek sürekli madde yiyen bir süreç olacaktır.

İtiraf etmek gerekir ki, bu çok yavaş bir süreçtir ancak Büyük Patlama'dan yaklaşık 10 milyar milyar milyar milyar milyar milyar milyar milyar milyar milyar milyar yıl sonra, yani gerçekten de çok çok uzun zaman sonra, evrendeki tüm karadelikler buharlaşmış ve onlardan saçılan parçacık ve ışınım da evrenin genişlemesiyle tüm uzaya ince bir zar gibi yayılmış olacak.

Bu noktada evren artık son aşaması olan *kozmik karanlık çağ*a girmiştir. Artık madde ve ışınım uzaya mükemmel bir rasgelelikle dağılmış, mümkün olan en düzensiz durumdadır; tüm o yıldızları, gökadaları ve hatta atom ve molekülleri bile oluşturan o nizami bölümlenme silinmiştir. Tıpkı dağınık masamın ulaşabileceği en uç durumda, tüm kitaplar, kahve fincanları ve ıvır zıvır döküntü parçalarının atomlarına kadar ayrışıp bir güzel karıştıktan sonra mutlak bir düzensizlikle masama yayılması gibi. Termodinamiğin ikinci kanunu der ki, evrenin düzensizlik derecesi olan entropi sürekli artmalıdır (bkz. 88. sayfa). Kozmik karanlık çağda, evren mümkün olan en yüksek entropi durumuna erişmiş olduğu için artık burada fiziğin sonuna gelinmiştir.

Isısal Ölüm'ün gerçek anlamı budur. Evrenin her köşesinin bir diğeriyle tamamen aynı olduğu bu son evreden bahseder. Bu evrede hiçbir ısı ya da enerjinin herhangi bir biçiminin bir yerden diğerine akışı söz konusu değildir. Bu, termodinamiğin altyapısının kurulmasına büyük emeği geçmiş İskoç-İrlandalı, Lort Kelvin olarak da bilinen fizikçi William Thomson'ın on dokuzuncu yüzyıldaki çalışmalarından türemiştir. 1850'li yıllar boyunca, mekanik

enerjinin ısı olarak dağılabileceği fikrini geliştirmiştir. Büyük ölçekte uygulandığında, evrende herhangi fiziksel bir sürecin gerçekleşmesi için gerekli her tür enerjiyi ifade eden tüm *mekanik enerji*nin bir noktada sıfıra düşeceği anlamına gelir. 1862 yılında yayımlanan "Güneş'in Isısal Yaşı Üzerine" başlıklı bir makalede Thomson evreni, "bozuk bir saat gibi sonsuza dek durmuş" olarak tasvir eder.

Isısal Ölüm senaryosunun bir yan etkisi, bunun sadece evrenin ölümü değil, kozmolojinin de sınanabilir bir bilim olarak ölümünü içeriyor olmasıdır. Evrenin genişlemesi nedeniyle gökadaların kozmolojik ufkumuzdan ve görüşümüzden çıkmalarıyla evrenin nasıl işlediğine dair kuramlarımızı kontrol edebileceğimiz kıstaslar ve deneylere erişimimiz de ortadan kalkmış olur. Yani evrene dair biriktirmiş olduğumuz bilgiler bir sebeple kaybolursa, uzak bir kozmik gelecekte bunları yeniden keşfetmemiz asla mümkün olmayacaktır.

Örneğin evrenin genişlemesini bilebilmemizin tek yolu, uzak gökadaları gözleyebilmemiz ve kırmızıya kaymalarından yola çıkarak, bizden uzaklaşma oranlarını ve böylece de evrenin genişleme oranının kozmik zaman ölçeğindeki evrimini hesaplayabilmemizden geçiyor (bkz. yedinci bölüm). Evren 2000 milyar yıl yaşına geldiğinde görebildiğimiz tek gökada kendimizinki olacak. Uzayın genişlemesini ve Büyük Patlama'dan bu yana genişlemenin nasıl değiştiğini ölçmemize yarayacak herhangi bir mihenk noktası bulunmayacak.

Isısal Ölüm ile ölçülemez hale gelen tek şey evrenin genişlemesi değil. Büyük Patlama'nın diğer geniş penceresi olan kozmik mikrodalga arka planı da üzerimize kapanacak. Evrenin doğumu ile bugün arasında geçen 13,8 milyar yıllık genişleme, kırmızıya kaymayla evrenin sıcaklığını sonsuz büyük bir değerden, mutlak sıfırdan sadece 2,73 derece yukarıda bir değere taşıdı. Evren genişlemeye devam ettikçe CMB de daha fazla kırmızıya kaydı.

2007 yılında ABD'li kozmologlar Lawrence Krauss ve Robert Scherrer'in iddiasına göre, evren 700 milyar yıl yaşına geldiğinde CMB o kadar sığlaşacak ki gökadamızda yıldızlar arasında asılı duran gazın arka plan uğultusunun ötesinde CMB'ye dair herhangi bir şey algılamamız mümkün olmayacak.

Büyük Patlama kuramının belki de en temel kanıtsal dayanaklarından biri de Büyük Patlama sırasında çekirdek kaynaşmasıyla hidrojen, helyum ve lityumun oluştuğu ilkel nükleosentez boyunca üretilen hafif element bolluğunun, kozmik genişlemenin 1000 milyar yıl sonrasında büyük ölçüde silinmiş olacağıydı. Buradaki temel bilgi, hidrojen ve helyum bolluklarının oranı ve bunun 3:1 olduğu; bu oran günümüzde hem öngörülmekte hem de gözlemlenebilmekte. Ne var ki hidrojeni helyuma dönüştürebilen tek şey Büyük Patlama değil, yıldızlar da bunu çok iyi bir şekilde beceriyor. Yıldızdaki çekirdek kaynaşmaları hidrojen çekirdeklerini bir araya getirerek helyum oluşturuyor ve yıldız kendini bir süpernovayla paramparça ederek ya da kırmızı dev oluncaya dek şişerek ömrünün sonuna geldiğinde, bu malzeme uzaya saçılarak yeni nesil yıldızların oluşacağı yıldızlararası bulutların kimyasal içeriklerini zenginleştiriyor. Bu, evren 1000 milyar yıl yaşına geldiğinde, gerçek hidrojen bolluğunun helyumunkine oranının 3:1'den oldukça farklılık göstereceği ve 1:3 gibi bir hal alacağı anlamına gelmektedir. Evrenin genişleme geçmişini ölçmenin hiçbir yolu olmadığından, bu oranı zamanda geriye sarmak ve evrenin Büyük Patlama'dan çıktığındaki halini temsil eden değere ulaşmak için kaç yıldız neslinin sorumlu tutulması gerektiğini belirlemek zor olacaktır.

Krauss ve Scherrer, günümüzden 1000 milyar yıl sonra ortaya çıkacak herhangi bir medeniyetteki kozmologlar geriye baktıklarında, bizim ancak tıpkı Hubble ve Humason'ın evrenin genişlediğini ispatlamadan önce Einstein'ın inandığı gibi statik ve değişmeyen bir evrende yaşadığımız kanısına varmak zorunda

kalacağını iddia ediyorlar. Gerçekten de gözlemsel kozmolojiyle elde ettiğimiz ipuçları ve sufleler olmaksızın bilimin, özellikle de fiziğin nasıl gelişeceğini ya da gelişemeyeceğini görmek büyüleyici olurdu.

Örneğin karanlık enerjinin yarattığı kütleçekimsel kuvvet, daha az negatif ya da sıradan madde gibi daha pozitif bir hal alacak şekilde evrilecek olursa, karanlık enerjinin Isısal Ölüm'ü nasıl da Büyük Çöküş'e döndürebileceğini daha önce görmüştük. Peki ya tam tersi olur da, karanlık enerji şimdikinden daha da itici bir hale gelebilirse? Bu basit fikir ilk olarak 2003'te New Hampshire'da Dartmouth College'daki Robert Caldwell'in öncülüğünü yaptığı Amerikalı bir grup kozmolog tarafından öne sürülmüştür. Büyük Yırtılma[1] olarak adlandırılan bu senaryoya göre, uzayın genişlemesi o kadar hızlanır ki, maddenin yapısı kelimenin gerçek anlamıyla yırtılır.

Sekizinci bölümde fizikçilerin uzayı ve zamanı dolduran maddenin doğasına ilişkin koydukları farazi sınırlandırmalar olan enerji koşulları adı verilen bir olguyla karşılaştığımızı hatırlayalım. Gördüğümüz gibi, kozmik enflasyon güçlü enerji koşulu adı verilen bir durumu ihlal etmekte ve bu da negative basınçlı malzemenin var olmasının mümkün olduğunu söylemekle aynı anlama gelmekte. Karanlık enerji vakumsal dalgalanmalarla oluşuyorsa, bu durumda boş uzaydaki enerji de güçlü enerji koşulunu ihlal ediyor demektir. Ancak Caldwell ve arkadaşlarının hayal ettikleri, bundan daha da uç durumda bir madde formuydu. Hayalet enerji olarak bilinen bu olgunun basıncı, vakumsal dalgalanmalarınkinden çok daha negatif ve bu nedenle fizikçilerin kitaplarındaki tüm dört enerji koşulunu ezip geçmekte. Hayalet enerji tam da kozmik genişlemenin, aradaki açığı kapamak için ivmelenerek hızlanmasındaki orana neden olur.

1 Big Rip. (ç.n.)

Büyük yırtılma senaryosunun tipik bir örneğinde kâinat, günümüzden 22 milyar yıl sonra, yani klasik Isısal Ölüm durumundaki 10 milyar milyar milyar milyar milyar milyar milyar milyar milyar milyar yıla kıyasla çok daha yakın zamanda sahneden çekilecek, ancak yine de endişeye mahal yok. Sona varmadan yaklaşık bir milyar yıl önce evrenin genişleme oranı, gökadaları bir arada tutan kütleçekimsel kuvvetleri alt edecek ve gökada kümelerini parçalayacak kadar hızlanarak ipleri eline alacak. Astronomlarımız, geçen asırlar boyu tuttukları kayıtlara bakacak kadar uyanık olsalardı, Yerel Grup'taki gökadaların kırmızıya kaymalarının hayalet enerjinin onlara sıkı sıkıya tutunmasıyla nasıl da çarpıcı bir ölçüde arttığını görürlerdi. Zamanla gökadalar, kâinatta başka hiçbir yapıyla bağı olmayacak şekilde derin uzayda izole varlıklar halini alacaktı.

Sona 60 milyon yıl kala, genişleme artık Samanyolu gibi tekil gökadaları tarumar edebilecek kapasiteye erişecek. Yıldızlar birbirinden öteye uzaklaşırken gökadalar hızla yayılıp silinecek. Samanyolu dağılıp, yıldızlar karanlığın içinde birbirlerinden uzaklara savruldukça, bulutsuz bir gecede göreceğimiz gökyüzü kısa sürede zifiri karanlığa dönüşecek. Üç ay içinde aynı şey Güneş sisteminin de başına gelecek ve gezegenler etrafında döndükleri yıldızdan ayrılıp uzaya savrulacak. Yıldızdan gelen ısıya muhtaç olan tüm yaşam biçimleri kısa sürede can verecek. Diğerlerinin ise kısa bir süresi kalacak. Son otuz dakikada yıldızlar ve gezegenler de.pes edecek ve bu amansız kozmik genişleme yüzünden gaz ve toz halinde paramparça olacak.

Büyük Yırtılma'nın saniyenin yaklaşık on milyar milyarda biri kadar öncesinde, uzayın genişlemesiyle açığa çıkan kuvvet öylesine şiddetlidir ki kuantumsal ölçeklerde bile hissedilebilir; öyle ki atomlar ve moleküller de kendilerini oluşturan proton, nötron ve elektronlara ayrışır. Bunlar da, ânın en ufak kesri kadar bir zaman sonra, evrenin dört bir yanına saçılmadan önce en temel kuan-

tumsal varlıklara ayrışacak kadar un ufak olur. En kısacık bir anda evren Isısal Ölüm senaryosunun o arınmış boşluğuna erişmiştir. Sonra da her şey biter. Genişleme, uzayın bile dayanamayacağı kadar aşırılaşmıştır ve sonsuz kütleçekimsel kuvvetler onu da yırtar. Evrenin her yeri ayrı bir tekilliktir, tıpkı Büyük Patlama'nın içinden gelmiş olduğu ve kütleçekimin sonsuz kuvvetinin fiziği bozduğu sonsuz bir uzayzaman eğriliği bölgesi gibi.

Evrenin sonuna hoş geldiniz.

ON DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Bilinmeyene Doğru

"Keşfe yapılan gerçek yolculuk, yeni manzaralar aramakla değil yeni gözler edinmekle olur."

MARCEL PROUST

İşte evrenin kaderinin nasıl şekillenebileceğine dair iki temel senaryoyu okudunuz. Birbirlerinden ancak bu kadar farklı olabilirlerdi. Uzay, ya kozmik vahşetin son hamlesinde evreni ezerek ortadan kaldıracak ve kendi üzerine çökecek ya da yavaşça hiçliğe kayarak bilinmezliğe doğru genişlemeye devam edecek; uykuda ölümün kozmik dengi gibi bir durum. Neyse ki bu iki senaryoya da ne bizim ömrümüz yetecek, ne çocuklarımızın ne de onların çocuklarının ömürleri. Bu olaylar milyarlarca yıldan önce gerçekleşecek değil. Tam da burada, Dünya'da, çok daha ciddi, insanlığın var oluşunu tehdit eden problemler mevcut. Şimdilik evreni nasıl kurtaracağımız konusunda endişelenmemize gerek yok.

Ancak yine de bilmek istemek çok doğal. Nihayetinde bilim insanlarını güdüleyen şey gerçeği, bilgiyi ve bu can alıcı soruyu cevaplama arzusu. Hangi soru kainatın nihai kaderinden daha büyük olabilir ki?

Bunu bulmanın tek yolu evrenin büyük ölçekte gözlemlerinin gerçekleştirilmesinden, yani astronomiden geçiyor. Bu başından beri böyleydi. Güneş sistemindeki gezegenlere dair ilk çalışmalar-

dan Messier'nin bulutsularına, Hubble ve Humason'un evrenin genişlediğini fark ettikleri ilk gözlemlerden karanlık enerjinin keşfine ve kozmik mikrodalga arka planının yapısının çözülmesine kadar kainatı anlayabilmemiz için bize yol gösteren hep gözlemsel astronomların yaptığı işler olmuştur.

En büyük devrimlerin çoğu, yeni teknolojilerin çıkışıyla temin edilmiştir. Bu, elektromanyetik tayfın X-ışını veya kızılötesi gibi yeni bölgelerini keşfetmek için daha büyük teleskoplar inşa ederek de olabilir, teleskopları atmosfer dışına, uzaya göndererek ya da atmosferik bozulmaları düzelterek atmosferin belirsizleştirici bulanıklığının ardını görebilmenin yollarını keşfederek de. O halde evrenin geleceği ve nihai kaderini anlayabilmek için önümüzdeki yıllar ve on yıllar boyunca astronomide dört gözle bekleyeceğimiz ne gibi yenilikler var?

Muhtemelen en çok beklenen proje Hubble Uzay Teleskobu'nun varisi olacak olan James Webb Uzay Teleskobu (JWST).[1] Adını, uzay ajansının işlevlerinde, uzay bilimi çalışmalarının insanlı uzay keşifleriyle eş önceliğe sahip olması gerektiğini savunan ve 1961-1968 yılları arasında hizmet vermiş olan, NASA'nın ikinci yöneticisinden almaktadır. JWST projesi, 1980'lerin sonlarında geliştirilmeye başlandığı zaman Yeni Nesil Uzay Teleskobu (NGST)[2] adıyla anılıyordu. Hedef, ana ayna çapı 6,5 metre olan bir teleskobu uzaya göndermek. Bunu HST'nin 2,4 metre olan aynasıyla kıyasladığınızda JWST'nin nasıl da büyük bir şey olduğunu anlayabilirsiniz.

Yani JWST'nin ışık toplayan yüzeyi Hubble'ınkinin yaklaşık beş katı kadar olacağı için çok daha sönük cisimleri görebilmemizi sağlayacak. JSWT, henüz oluşum aşamasındaki gezegen ve yıldız sistemlerine bakmak ve muhtemelen genç gezegenlerin kökenle-

1 James Webb Space Telescope. (ç.n.)
2 Next Generation Space Telescope. (ç.n.)

rini incelemek kadar, kozmolojiye kayda değer katkılarda bulunmayı da vaat ediyor. Evrende parıldayan ilk yıldızlardan gelen ışığı arayacak. Dokuzuncu bölümde gördüğümüz gibi, Öbek III olarak adlandırılan bu yıldızların Büyük Patlama'dan yaklaşık 180 milyon yıl sonra doğduklarına ilişkin kanıt zaten mevcut. JWST'nin görevlerinden biri, bunun ötesini araştırmak ve bu cisimlerin bileşimlerini ve yapılarını incelemek; çünkü Büyük Patlama'nın o çok taze malzemesinden oluşmuş bu yıldızlar, evrenin ilk zamanlarındaki fiziğe dair önemli ipuçları içeriyor.

Teleskobun keskin görüşü, Büyük Patlama'ya daha yakın zamanlardaki gökada oluşumu ve evrimine dair çalışmalarımıza da ivme katacak. Bu gözlemler sayesinde, ilk gökadaların nasıl şekillendiğini, bu geniş çeşitlilikteki gökada şekillerinin ve büyüklüklerinin nasıl oluştuğunu ortaya çıkaracak ve muhtemelen bugünkü gökadalar ile bebek evreni donatan aşırı parlak kuazarlar arasındaki ilişkiyi aydınlatacak. Gökada oluşumlarının irdelenmesi de bu kritik erken zamanlardaki karanlık madde ve karanlık enerjinin doğasına dair doğrudan bir içgörü sağlayacak.

Doğal olarak 6,5 metre aynası olan bir teleskop, mevcut roketlere sığmayacak kadar büyük. Ancak tasarımcılar, fırlatış sırasında katlı duracak olan on sekiz adet iç içe geçebilen altıgen parçadan oluşan aynanın, teleskobun uzayda konumunu aldıktan sonra açıldığı kurnaz bir düzenle çıkageldiler.

Hubble, Dünya etrafında yaklaşık 540 kilometre yüksekte bir yörüngede dolanırken, JWST Dünya ile Güneş'in kütleçekimlerinin uyum içerisinde olduğu L2 Lagrange noktası olarak bilinen bir noktada, uzayda Dünya ile uygun adım düzende, Güneş etrafında dairesel bir yörüngede ikamet edecek. Dünya-Güneş ikili sisteminde aslında beş adet Lagrange noktası mevcut (265. sayfada görebilirsiniz). L2, Dünya'dan Güneş'e doğru 1,5 milyon kilometre ötede olduğu için Güneş'in parıltısından sakınan sürekli bir gölgede olduğundan, burası bir teleskop park etmek için

harika bir konum. JWST'nin 2021'de ESA Ariane 5 roketiyle fırlatılması bekleniyor.[1]

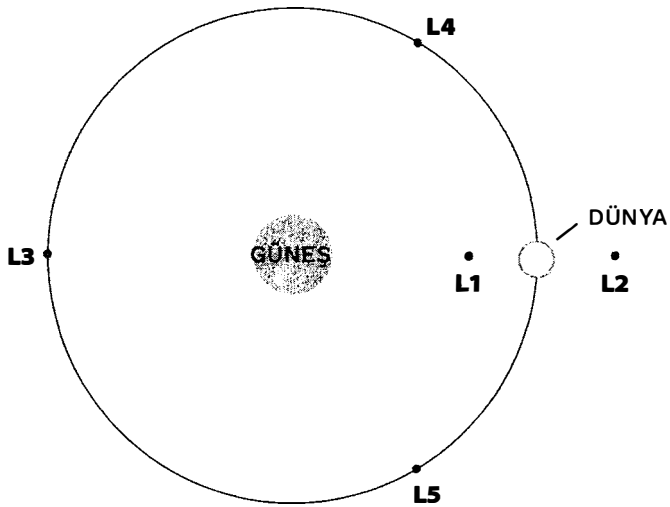
Önümüzdeki on yıl için planlanan diğer teleskop ve uzay görevlerinin bir kısmı da, evrenin hızla genişlemesine neden olduğu düşünülen karanlık enerjinin gizemli doğasını anlamayı amaçlıyor. Şili'nin Cerro Pachón dağında bulunan 8,4 metrelik yer tabanlı bir teleskop olan Dev Sinoptik Tarama Teleskobu'nun (LSST)[2] ilk ışığı 2019[3] yılında alması bekleniyor. Teleskop, kütleçekimsel mercekleme sayesinde ve evrenin ilk zamanlarında plazmadaki baryon akustik salınımlar üzerine çalışmalarıyla karanlık madde ve karanlık enerji üzerine araştırmalar yapacak (bkz. yedinci bölüm). 2021'de ESA, karanlık enerjinin yoğunluğu vakumsal enerjiyle açıklandığında beklendiği gibi zamanla sabit mi kalıyor, yoksa karanlık enerjiyi madde ve enerjinin daha karmaşık ve dinamik alanlarının hareketine atfeden kuramlarda olduğu gibi, yoğunluğu aslında zamanla değişiyor mu diye bulmayı hedefleyen deneyiyle, evrenin genişleme geçmişinin, Büyük Patlama'dan yaklaşık 3 milyar yıl sonrasına kadarki tablosunu çıkarmayı hedefleyen Euclid uzay görevini fırlatacak. Daha sonra 2020'li yılların ortalarında, NASA'nın Geniş Alan Kızılötesi Tarama Teleskobu (WFIRST)[4] görevi, yine kütleçekimsel mercekleme ve baryon akustik salınım-

1 25 Aralık 2021'de başarıyla fırlatılan JWST, L2 noktasındaki yörüngesinde yerini aldığından beri evrenin daha önce hiç görmediğimiz görüntülerini, yepyeni gökada ve yıldızları gözler önüne seren gözlemlerini Dünya'ya iletiyor. (ç.n.)

2 Large Synoptic Survey Telescope. (ç.n.)

3 Güncel durumda mühendislik çalışmaları için kullanılacak kameranın ilk ışığı Temmuz 2023'te alması beklenirken sistemin ilk ışığının Şubat 2024'te alınması bekleniyor. Tarama gözlemlerinin ise Ekim 2024'te başlaması planlanıyor. (ç.n.)

4 Wide Field Infrared Survey Telescope. Mayıs 2022'de WFIRST'ün bundan sonra Hubble Uzay Teleskobu'nun annesi olarak addedilen ve NASA'nın ilk baş astronomu olan Nancy Grace Roman'ın adıyla, kısaca Roman Telescope olarak anılmasına karar verildiği açıklandı. 19 Temmuz 2022'de yapılan açıklamaya göre Roman'ın Ekim 2026'da fırlatılması planlanıyor. (ç.n.)



5 Lagrange noktasının her biri de Dünya ile Güneş'in kütleçekiminin uzlaşması sayesinde Dünya ile uyumlu bir yörüngede, Güneş etrafında daireler çizer. James Webb Teleskobu L2 noktasına yerleşecek.

ları gözlemleyerek ve ilk zamanlarda evrenin genişleme oranını çıkarmak için kullanılan standart kandiller olan uzak süpernovaların aşırı detaylı gözlemlerini yaparak, karanlık enerjiyle ilgili kendi araştırmalarını yürütecek. WFIRST, kozmik genişlemenin, ilişkilendirildiği karanlık enerji yerine Einstein'ın genel görelilik kuramının güncellemeleriyle açıklanıp açıklanamayacağını da araştıracak.

Evrenin sırlarının aralanması sadece astronomiye özgü değil. 2026'da CERN'deki parçacık hızlandırıcısı olan Dev Hadron Çarpıştırıcısı[1] (LHC) bir güncellemenin ardından Yüksek Işınımlı LHC adını alacak. Güncellemeye, 27 kilometrelik hızlandırıcı halka etrafında dönen parçacıkların daha dar ve yoğun bir demet içine sıkışmasına neden olacak çok daha güçlü süper iletken

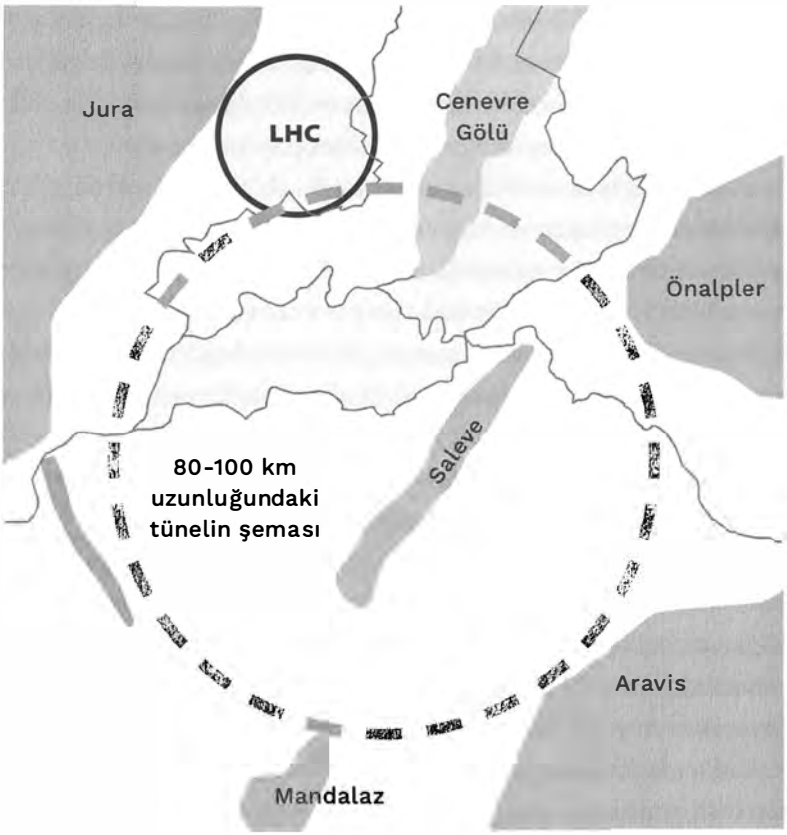
1 Large Hadron Collider. (ç.n.)

mıknatısların yerleştirilmesi de dahil. Bu sayede parçacık fiziğinde çok nadir rastlanan etkileşimler çarpıştırıcıda daha olağan bir hal alacak ve Büyük Patlama'dan hemen sonraki anlarda gerçekleştiğine inanılan egzotik fiziğin yakından incelenmesi daha mümkün olacak. Bunun ötesinde LHC'nin yanı başında 80-100 kilometrelik dairesel bir parçacık hızlandırıcı yapma planları da var (bir sonraki sayfaya bakın). Geleceğin Dairesel Çarpıştırıcısı[1] (FFC) parçacık dünyasının mevcut standart modelinin ötesinde yeni bir fizik bulma iddiasıyla, parçacıkları bugün LHC ile erişilebildikleri enerjinin yaklaşık on katına çıkmalarını mümkün kılacak hızda döndürecek.

Ne tür bir yeni fizik peki bu? Bunun en iddialı örneklerinden biri 2018 yılının Mayıs ayında (tam da bu satırları yazmadan birkaç gün önce) Illinois, Chicago'da bulunan Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı'ndaki (Fermilab)[2] nötrino algılama deneyinin şaşırtıcı bir sonucu olarak görüldü.

Böylesi milyarlarca hayaletimsi süper hafif nötrino parçacığı şu anda vücudunuzdan akıp geçmekte ama nötrinoların maddeyle etkileşimi o kadar zayıf ki bunu asla anlayamazsınız (bkz. beşinci bölüm). Nötrinoların "aroma" olarak bilinen üç farklı türü vardır; elektron, *müon* ve *tauon*. Fermilab'in MiniBooNE projesi (ya da Mini Hızlandırıcı Nötrino Deneyi[3]) dedektöre doğru bir müon nötrino demeti atar. Yol boyunca bu parçacıkların bazılarının, dedektörün algılamak üzere ayarlanmış olduğu elektron nötrinolarına dönüşmesi gerekir. Ancak deneyde beklenenden çok daha fazla elektron nötrinosu görülmekte. Müon nötrinolarının bazılarının yeni bir atomaltı parçacık türü olan *steril nötrino*lara dönüşmesi ve bunların da tercihen elektron nötrinolarına dönüşmesi, bu durumun açıklamalarından biridir. Yeni bir parçacık keşfi başlı başına

1 Future Circular Collider. (ç.n.)
2 Fermi National Accelerator Laboratory. (ç.n.)
3 Mini Booster Neutrino Experiment. (ç.n.)



İsviçre-Fransa sınırındaki Dev Hadron Çarpıştırıcısı parçacık hızlandırıcısının yakınında, ana çemberi 100 km büyüklüğünde bir parçacık hızlandırıcısı olan Geleceğin Dairesel Çarpıştırıcısı için önerilen alan.

büyük bir haber. Ancak steril nötrinolar kozmoloji için muazzam bir haber, çünkü maddeyle etkileşimlerinin sadece kütleçekim kuvveti yoluyla gerçekleşiyor olması, bunları evrendeki karanlık madde içeriğini açıklamak için olası adaylar haline getiriyor. Yeni fizik, kozmoloji için bir tür joker ve bunu araştırmanın tek yolu daha büyük ve daha iyi parçacık fiziği deneyleri yapmaktan geçiyor.

Son zamanlarda gözlemsel kozmolojideki belki de en büyük

haber 2015'te kütleçekimsel dalgaların keşfi oldu. Bu keşfin çok önemli olmasının iki nedeni var. Birincisi, kütleçekimsel dalgaların Einstein'ın genel görelilik kuramının en öne çıkan, test edilmemiş öngörülerinden birisi olması (bkz. ikinci bölüm).

Fakat muhtemelen daha da önemlisi, kütleçekimsel dalgaları görebilmemizi sağlayan bu yeni kabiliyetimizin, evreni gözlemleyebilmemiz için bize fazladan bir pencere açması. Bu tıpkı zifiri karanlıkta elimizde bir fener olmaksızın ormanda yürürken aniden kızılötesi görüşü keşfetmenin, etrafımızda daha önce farkında olmadığımız özellikleri görebilmemizi sağlaması gibi. Benzer şekilde, biz de artık evrene farklı bir gözle bakabiliyoruz, daha önce göremediğimiz detayları fark edebiliyoruz ve tabii ki bu kozmoloji için bir devrim niteliğinde.

Örneğin bu keşif sayesinde mümkün hale gelen yeni bir gözlemsel teknikle Hubble sabitini çok yüksek hassaslıkta ölçmemizi sağlayan bir yol var. Uzayın genişlemesinin hızlandığını mı yoksa yavaşladığını mı açığa çıkaracak olan, evrenin nihai kaderini belirleyecek olan ve evrenin karanlık enerji içeriği hakkında bilgi verecek olan, farklı kozmik dönemlerdeki Hubble sabitini ölçebilmek, evrenin genişleme geçmişine dair parçaları bir araya getirmekte kilit bir role sahip.

Hubble sabitini ölçebilmek, astronomların çok uzaktaki gökadaların uzaklıklarını ölçebilmesine bağlı. Hubble sabitinin, kozmik genişleme sayesinde gökadanın uzaklığına bölünerek sadece gökadanın uzaklaşma hızını verdiğini hatırlayın. Gördüğümüz gibi, aslında sabit olmadığı ve zamanla değiştiği için hem uzayın derinliklerine hem de ışığın yolculuk süresi etkisiyle geriye bakabilmemiz sayesinde zamanda da geriyi görerek, Hubble sabitinin kozmik zaman içinde nasıl evrimleştiğini grafiğe dökebiliriz.

Bu ölçümleri yapmanın yollarından biri, Edwin Hubble ve Milton Humason'ın da kozmik genişlemeyi keşfederken kullandıkları standart kandil yöntemi olarak bilinen yöntem. Yıldızların öz

parlaklıklarına erişmek için uzak gökadalarda görülen, Cepheid değişkenleri olarak bilinen yıldızların zonklama dönemini kullandılar. Dünya'dan görülen parlaklıklarını ölçerek, ışığın uzaklıkla ne kadar sönümlendiğini bulduktan sonra, yıldızların uzaklıklarını ve böylece onlara ev sahipliği yapan gökadaların Dünya'dan ne kadar uzak olduklarını açığa çıkardılar. Son olarak da gökadaların kırmızıya kaymalarını ölçerek uzaklaşma hızlarını bulduktan sonra, Hubble sabiti için bir tahminde bulundular. Benzer bir yöntem, bu sefer parlaklığı bilinen Tip Ia süpernova patlamaları kullanılarak karanlık enerjinin keşfinde de uygulanmıştı. Yine süpernovaların görünen parlaklıklarının ölçümü kullanılarak bulundukları gökadaların uzaklıkları ortaya çıkarıldı ve farklı dönem aralıkları için Hubble sabiti tahminleri yapıldı. Bu da uzayın genişlemesinin hızlanmakta olduğunu ortaya koydu.

Standart kandil yöntemindeki sorun, astronomların Dünya'dan görülen parlaklık ölçümlerinin güvenilirliğine dayanıyor olması. Örneğin uzak bir gökadadaki değişen yıldızdan gelen ışık, Dünya ile gökada arasındaki bakış doğrultusu boyunca kozmik tozun araya girmesi nedeniyle sönükleşiyorsa, yıldız ve haliyle onu barındıran gökada da gerçekte olduğundan daha uzakmış gibi görüneceği için Hubble sabitinin daha düşük değerlerde tahmin edilmesine neden olur.

1986'da *Nature*'da yayımlanan bir mektupta[1] Amerika doğumlu, Galler'deki Cardiff Üniversitesi'nde çalışan astrofizikçi Bernard Schutz, kütleçekimsel dalgaların daha güvenilir bir alternatif olduğunu göstermiştir. Gitgide birbirine yaklaşarak birbiri etrafında sarmal bir yörüngede hareket eden bir çift nötron yıldızı gibi çok yoğun iki cisim kütleçekimsel dalga için çok kuvvetli bir kaynaktır.

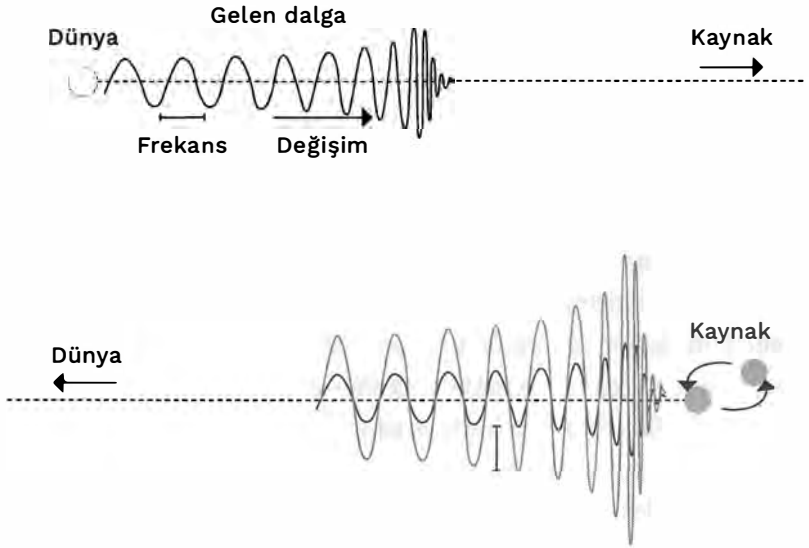
1 Bu gibi bilimsel dergilerdeki mektuplar bilim insanlarının bir tür genel çağrısı veya bildirisi mahiyetindedir. Bilimsel içerikli ancak makale olmayan bu tür metinler camiaya bir duyuru veya bilgilendirme mektubu gibi düşünülebilir. (ç.n.)

Bu cisimler, ortak kütle merkezi etrafında bir yörüngede dolanan yüksek kütleli iki yıldızın ölüp de süpernova geçirmelerinin ardından arkalarında bırakmış oldukları yoğun çekirdeklerinden ibaret bir çift yıldız sistemi kalıntısı olabilir. Cisimlerin sarmal hareketi devam ettikçe kütleçekimsel dalgaların frekansı ve şiddeti artar ve birleşmelerinin hemen öncesinde zirve değere ulaşır.

Schutz, uzaktaki bir değişen yıldızdan ya da süpernova patlamasından gelen ışıkta olduğu gibi, kütleçekimsel dalgaların da kaynaktan çıkıp uzayda yol alırken şiddetlerinin azaldığını fark etti. Kütleçekimsel dalgalar uzayın kendisindeki dalgalanmalar oldukları için dalganın şiddeti Dünya'dan, dalgaların geçtiği iki nokta arasındaki mesafedeki ufak bir değişiklikten yola çıkılarak ölçülebilir. Kütleçekimsel dalganın şiddetini Dünya'da ölçtüğümüzde, eğer dalganın birleşen nötron yıldızı çiftinden çıktığı zamanki şiddetini biliyorsak, uzaklıkla bu şiddetin ne kadarının sönümlendiğini hesaplayabilir, böylelikle de kaynağın uzaklığını bulabiliriz.

Schutz, Einstein'ın nötron yıldızı çifti sistemlerinden çıkan kütleçekimsel dalgaların nasıl salındığına ilişkin genel görelilik denklemleri üzerinde çalıştığında, dalganın kaynaktan çıktığındaki şiddetini bulmanın aslında mümkün olduğunu fark etti. Bunun, dalgaların gözlenen frekansı ile yıldız çifti birleşmeden önceki son birkaç yörünge turundaki frekans artış oranı bir araya geldiğinde belirlenebildiğini buldu (bir sonraki sayfaya bakın). Böylelikle dalganın gözlenen ve hesaplanan şiddetleri kullanılarak birleşen yıldız çiftinin uzaklığına erişilebilir.

Nihayetinde, nötron yıldızları birleşirken bir de ışık parlaması meydana getirdikleri için ev sahibi gökadanın konumu gökyüzünde nokta atışı olarak belirlenebilir. Bu da optik teleskopların kırmızıya kaymayı belirlemek için ihtiyacı olan gözlemi yapmasını mümkün kılar. Astronomlara gökadanın uzaklaşma hızını söyleyen bu durum, Hubble sabitinin hesaplanmasına da imkân tanır.



Bir nötron yıldızı çiftinden gelen kütleçekimsel dalgaların frekansı iki yıldız birleşinceye dek artar, yani dalgalar gitgide birbirlerine daha da yanaşır. Bu frekansın artış hızının ölçülmesi, dalgaların kaynaktan çıktıklarındaki şiddeti (gri çizgi) ele verir. Bu, dalganın Dünya'dan algılanan şiddetiyle (siyah çizgi) birleştirildiğinde kaynağın ne kadar uzakta olduğu ortaya çıkar.

Problem şu ki, 1980'lerde Schutz bu fikri ilk kez ortaya attığında, her ne kadar umutları yüksek olsa da astronomlar, kütleçekimsel dalgaları gerçek hayatta algılamaktan onlarca yıl uzaktalardı. Aslında o dönemde ben Cardiff Üniversitesi'nde hızla dönen nötron yıldızları olan pulsarların ürettiği kütleçekimsel dalgaları çalışan bir öğrenciyken Bernard Schutz hocalarımdan biriydi. Kimi zaman bir pulsarın dış kabuğu çatlar ve dengesini yitirerek dönerken yalpalamasına neden olur. Yıldız çok yoğun olduğu ve çok hızlı döndüğü için bu yalpalama yıldız hakkında çok faydalı bilgiler taşıyan kütleçekimsel dalgaların oluşmasına neden olabilir. Deneycilerin beklentisi bu sinyalleri birkaç yıl içinde gözleyebilmeleri yönünde olsa da, şimdi biliyoruz ki ben 1992 yılında

mezun olduğumda kütleçekimsel dalgaların algılanmasına daha 20 yıldan fazla zaman varmış.

Kütleçekimsel dalgaların ilk kez gözlemlenmesi 14 Eylül 2015'te gerçekleşti. Bu, Dünya'dan uzaklığı 1400 milyon ışık yılından biraz fazla olan bir gökadadaki bir çift sistemde, birbiri etrafında dolanan iki karadeliğin birleşmesiydi. Karadelikler Hubble sabitinin tahmininde hiç işe yaramazlar, çünkü nihai birleşmedeki ışığın tamamı birleşmeyle oluşan dev karadelik tarafından yutulduğu için ortaya ışık çıkmaz ve bu nedenle ev sahibi gökadanın uzaklaşma hızını hesaplayabilmek için gerekli olan konumu kestirebilmek imkânsızdır. Günümüzdeki dedektörlerin açısal çözünürlüğü yeterince hassas olmadığı için konumu sadece kütleçekimsel dalgaları kullanarak bulmak mümkün değildir.

Buna karşılık astronomlar, ilk nötron yıldızı birleşimi için biraz daha beklemek zorundaydı. 130 milyon ışık yılı uzaklıktaki bir gökadada birleşen iki nötron yıldızından algılanan kütleçekimsel dalgalar bize vardığında, tarih 17 Ağustos 2017 idi. Schutz yöntemini uygulayarak, Hubble sabitini saniyede megaparsek başına 70 kilometre olarak hesaplayabildi. Tek bir veriden yola çıkmış olduğu için hata payı oldukça yüksekti. Normalde hatayı azaltmak için astronomlar birçok veri elde edip ortalamasını alırlar.

Bu kitabın yazıldığı esnada (Mayıs 2018), 17 Ağustos 2017'deki bu olay kütleçekimsel dalgaların algılandığı tek nötron yıldızı birleşimiydi. Ancak olaylar listesi zamanla uzadıkça, Schutz'un *standart siren yöntemi* olarak bilinen tekniği, kütleçekimsel merceklerin standart kandillere benzetilmesiyle Hubble sabitinin ölçülmesinde muhtemelen astronomların en kesin ve güvenilir cetveli halini alacaktır. Sabitin hesaplanmasında standart kandiller kullanıldığındaki %2-3 civarındaki hatayla kıyaslandığında, bu yeni yöntem sayesinde hatanın %1'e ineceği tahmin ediliyor. Bunun karanlık enerjinin doğasını anlamamıza büyük katkısı olabilir. Günümüzde gözlemlenen Hubble sabiti değeriyle kozmologların allak bullak

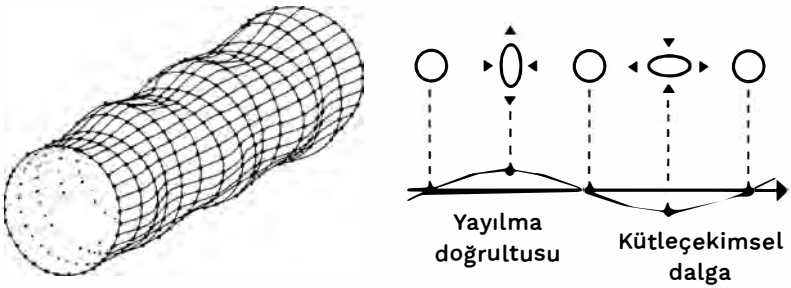
olmasına neden olan kozmolojik modellerden hesaplanan değer (bkz. yedinci bölüm) arasındaki tutarsızlığı çözmemize de yardımcı olabilir.

Bunun için kütleçekimsel dalga dedektörlerinin gözlemlenebilir evrenin kenarından gelen uzayzaman dalgalanmalarını algılayabilecek hassaslıkta olması gerekiyor. Şu anda üç büyük kütleçekimsel dalga dedektörü mevcut. Bunların ikisi Washington, Hanford ve Louisiana, Livingston'da bulunan Amerikan Lazer Girişimölçer Kütleçekimsel Dalga Gözlemevi'ne[1] (LIGO) ait. Diğeri ise İtalya, Toskana'da yerleşik Avrupa Virgo projesi. Bu cihazların hepsi geçmekte olan kütleçekimsel dalganın neden olduğu bozulmaların, üst üste binmiş lazer demetlerinin ışık parlaklığının değişmesini sağlayan *girişimölçer*[2] adı verilen optik bir yöntemle çalışıyor.

Bir kütleçekimsel dalga geçtiği zaman, dalganın hareket ettiği doğrultuya dik düzlemdeki uzayın dönüşümlü olarak esnemesi ve sıkışmasına neden olur; önce dikey bir elipse dönüşüp yeniden normale döner, sonra yatay bir elipse dönüşüp yeniden normale döner ve çevrim böylece tekrarlanır (bir sonraki sayfaya bakın). Girişimölçer tabanlı kütleçekimsel dalga gözlemevleri bu esneme-sıkışma etkisini lazer ışığıyla algılamayı dener. Görselin sağındaki gibi bozulan bir dairenin merkezinde bir dedektör olduğunu düşünün. Dedektör, çemberin üst kenarından merkeze olan mesafeyi ve bir de merkezden, diyelim ki, sağ tarafa olan mesafeyi ölçebilirse, bu mesafelerin zamanla nasıl değiştiğinin gözlemlenmesi, kütleçekimsel dalganın geçişini açığa çıkarır.

Girişimölçerler bunu, birbirine dik açıda iki uzun kol boyunca yansıttıkları lazer ışığının her kolun ucundaki aynadan geri yansımasını, kollardaki ufak uzunluk farklılığını açığa çıkarak şekilde birleştirerek yaparlar.

1 Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory. (ç.n.)
2 Interferometry. (ç.n.)
3 Wobbly tube. (ç.n.)



Uzayın kütleçekimsel dalganın geçişiyle bozulması. Dalganın hareket doğrultusunda dik bir düzlemde çizilmiş bir daire dönüşümlü olarak bir elips halinde genişler ve büzülür ve sonra normale döner (sağda). Dönüşümlü olan genişleme ve büzülme, kendini üç boyutta dalganın bozulmasında solda görüldüğü gibi "yalpalayan boru"[1] (teknik terim) şeklinde gösterir.

İki ışık dalgasının birbirine eklenerek yeni bir dalga yapısı oluşturması girişim sayesinde gerçekleşir (bkz. altıncı bölüm). Dedektörün kolları boyunca gönderilen ışık dalgaları başlangıçta birbirinin aynısıyken, birleşmeleriyle oluşan yeni dalga, öncekilerle aynı frekansta olsa da iki katı parlaklıktadır. Bu dalgaların *yapıcı* girişim gerçekleştirdiği söylenir. Ancak kütleçekimsel dalga geçidindeki kollardan birinin diğerinden biraz daha uzun olduğu durumda, dalgalardan biri diğerine göre hafif bir kayma gösterir ve birleşimi sonucu oluşan dalganın parlaklığını azaltır. Bunun nedeni kaymanın iki dalgadan gelen ışığın bir kısmını sönümlemesinden kaynaklanmaktadır. Aşırıya kaçıp da, demetlerden biri diğerinden bir tam yarı dalga boyu kadar kaydırılırsa, iki dalga birbirini tamamen sönümler ve bileşik dalganın parlaklığı sıfır olur; yani *yıkıcı* girişim sergilerler. Bu girişim etkisi, girişim yapan lazer ışığının parlaklığının zamanla değişmesine neden olur ve gözlemlenen değişimler, çeşitli kaynaklardan gelen kütleçekimsel dalgaların geçişi için kuramsal öngörülerle kıyaslanabilir.

Sorun, bu etkinin aşırı derecede ufak olmasıdır. Bu nedenle

LIGO dedektörünün her bir kolu, bir dalga geçtiği zaman oluşacak değişimin mümkün olduğunca büyük olmasını sağlamak için 4 kilometre (2,5 mil) uzunluğundadır. Buna rağmen göreli kayma ancak 1000 milyar milyarda bir civarındadır. Sinyali daha da güçlendirmek için lazer demetlerinin girişimölçerin kollarında yüzlerce defa yukarı aşağı yansıtılmasıyla her bir kolun etkin uzunluğu artırılır. Yoldan geçen bir arabanın bile sinyali kirletebildiği dalgalar bu kadar zayıfken, bir diğer zorluk da gürültüyü ortadan kaldırmaktır. 2002'den beri aktif olan LIGO'nun 2015'te ilk kütleçekimsel dalga sinyalini algılayabilmesi için on üç yıl boyunca çalışması ve tasarımının geliştirilmesi gerekmiştir.

LIGO'nun 2021'de maksimum hassasiyete erişmesini sağlayacak başka güncellemeler de planlanmaktaydı ama Virgo bunu 2018'de başardı. Sahalarda yeni dedektörler de var: Japonya'da Kamioka Kütleçekimsel Dalga Dedektörü'nün (KAGRA) 2019'da[1] çalışmaya başlaması beklenirken, 2025'te LIGO-India adında yeni bir büyük ölçekli dedektör, Batı Hindistan'ın Hingoli bölgesinde çalışmaya başlayacak. Kütleçekimsel dalgaların, muhtemelen 2020'lerin ortalarından itibaren dünya üzerinde beş kadar farklı yerden birden gözlemlenmesinin birçok avantajı olacak. İlk olarak, her yeni dedektör yanlış kabullere karşı ek bir kontrol filtresi görevi görecek. Örneğin güçlü bir sinyali sadece ABD'deki dedektörler algılıyorsa, bunun nedeni deprem gibi Amerika kıtasında gerçekleşen karasal bir olay olabilir.

İkinci olarak, ne kadar çok dedektör olursa, astronomlar kaynağın gökyüzündeki konumunu o kadar kesin bir şekilde belirleyebilir. Bu, tıpkı gezegendeki konumunuzun bulunabilmesi için birden fazla GPS uydusunun gerekli olmasına benziyor. Her bir kütleçekimsel dalga dedektörü sinyalin varış ânını kaydettiğinde, bunların gezegen üzerindeki konumlarına göre kaynağın doğrultu-

1 Çalışmaya 2020'de başlamıştır. (ç.n.)

su nirengilenebilir. Şimdilik kaynağın konumunun sağlanması, ancak çarpışan nötron yıldızlar örneğinde olduğu gibi, optik bir parlama da gerçekleştiği takdirde mümkün. Daha fazla dedektör olduğu durumda astronomlar bunu sadece kütleçekimsel dalga sinyallerini kullanarak, herhangi bir optik karşılık olmadan da yapabilir.

Son olarak, çok sayıda dedektörün varlığı, bilim insanlarının kütleçekimsel dalgaların kutuplaşmasını incelemesini de mümkün kılar. Tıpkı on ikinci bölümde gördüğümüz elektromanyetik dalgaların kutuplaşmasının, dalganın elektrik alanının titreşim doğrultusuna karşılık gelmesi gibi kütleçekimsel dalgalar da kutuplaşabilir. Bunların kutuplaşma durumları elektromanyetik dalgalarınkinden daha karmaşık olsa da, muhtemelen kütleçekimsel kuantum kuramını doğru biçimine yönlendirebilecek genel görelilik öngörülerinden sapmaları açığa çıkarabilirler. Böylesi bir kuramın, Büyük Patlama'nın kalbinde gerçekten neler olup bittiğini ve evren Büyük Çöküş ile kendi üzerine yığılırsa neler olabileceğini anlamamız için oldukça önemli olduğunu zaten görmüştük; evren bir hiçliğe çöktükten sonra yok mu olacak, yoksa geri sekecek mi? Kütleçekimsel kuantum kuramının buna bir cevabı olabilir. 14 Ağustos 2017'de algılanan karadelik birleşimi üç gözlemevinde de (LIGO'nun iki gözlemevi ve Virgo) kayda geçen ilk kütleçekimsel dalga olayı oldu ve böylelikle ilk kez kütleçekimsel kutuplaşma başarıyla ölçülebildi.

Daha birçok kütleçekimsel dalga dedektörü geliştirilmektedir. Yer tabanlı projelerin en iddialısı Einstein Teleskobu. Dedektörün bu seferki tasarımı iki değil üç kollu, eşkenar üçgen şekilinde planlanıyor. Kolların her biri 10 kilometre uzunlukta olacak ve ortam gürültüsünden sakınmak için dedektörün tamamı yerin 100 metre altına gömülecek. Üçgen yapısı kütleçekimsel dalgaların kutuplaşmasını kolaylaştıracak. Einstein Teleskobu hâlâ planlanma aşamasında ve tamamlanma tarihi belli değil.

ESA tarafından geliştirilmiş bir kütleçekimsel uzay teleskobu

olan Lazer Girişimölçer Uzay Anteni[1] (LISA), kütleçekimsel dalga gözlemevlerinin anası olabilir. Üçlü bir uzay aracı takımı fırlatacak olan eşkenar üçgen şeklindeki projede kenar uzunluğu bu kez kayda değer ölçüde büyük (2,5 milyon kilometre) olacak. Bu büyüklükte bir dedektör, gökadaların kalbinde yer alan aşırı kütleli karadeliklerin birleşmelerinden çıkan türden, alçak frekanslı kütleçekimsel dalgaları da algılayabilecek. Uzayın derinliklerini görebilecek ve Hubble sabitini bulmak için geniş bir aralık boyunca Schutz'un yöntemini uygulayabilecek hassasiyette olması, kozmologların evrenin genişleme geçmişine ilişkin parçaları en doğru ve kapsamlı bir şekilde bir araya getirmelerine imkân tanıyacak. Şüphesiz ki bu bize karanlık enerjinin doğasına ilişkin en detaylı içgörüyü sunacak. ESA 2015 yılında LISA Pathfinder adında bir teknoloji test görevini başarıyla gerçekleştirdi ve LISA gözlemevinin tamamının 2030'ların ortalarına doğru fırlatılması şimdiden planlanmış durumda.

Kütleçekimsel dalgalar aynı zamanda uzayzamanın boyutluluğuna bir kısıt koymayı, karanlık maddenin doğasını incelemeyi ve diğer bölümlerde değindiğimiz gibi, kozmologlara kozmik enflasyon teorisini rakiplerine karşı fark yaratacak bir şekilde sınama imkânı sunmayı da vaat ediyor. Kütleçekimsel dalgalar uzayı dolduran maddeyle sadece çok zayıf bir etkileşimde bulundukları için, evrende aldıkları yol boyunca milyarlarca yıllık kozmik evrime rağmen gerçekten de hiç değişmeden bize varmayı başarabilirler. Bu bozulmamış kozmik miraslar, evrenimizin nereden geldiğini ve nasıl sonlanacağını açığa çıkarabilir.

Kitap boyunca aradığım temel gerçek buydu. Nereden geldiğimiz ve nihai kaderimize ilişkin temel soruların akıl almaz cevabı, sizi ve beni oluşturan maddenin, etrafımızda ve en güçlü astronomik aletlerle gökyüzünde görebildiğimiz her şeyin 13,8 milyar yıl

1 Laser Interferometer Space Antenna. (ç.n.)

önce, Büyük Patlama adı verilen felaket bir olay sırasında meydana gelmiş olduğu. Zaman oluştu, uzay meydana geldi ve bugün hâlâ önümüzde genişlemeye devam ediyor. İlkel girdaplardan adım adım atomlar, yıldızlar ve gökadalar oluştu. Yıldızların kimileri etrafında gezegen barındırdı ve bunlardan en azından birinde yaşamın ortaya çıktığını biliyoruz.

Gelecek bir muamma. Güneş'in bundan muhtemelen 7 veya 8 milyar yıl sonra öleceğini biliyoruz. Gerçi o zamana kadar bir an önce çözmemiz gereken varoluşsal sorunları atlattığımızı varsayarsak, insanların ya da artık nasıl bir şeye evrilirsek onların, buradan kaçacak teknolojiyi geliştirecek olması oldukça olası. Kaderimizin bundan ötesi meçhul. Ana akım düşünceler, evrenin ya günümüzden 20-25 milyar yıl sonrasında içerdiği her şeyi ezerek kendi üstüne çökeceğini ya da bugün gördüğümüz bu muhteşem evrenin yavaşça seyrelerek, karanlığın hiçliğine karışacak şekilde ebediyen genişlemeye devam edeceğini iddia ediyor.

Bazı bilim insanları evrenin ana akım görüşleri takip etmeyerek döngüsel olarak kabarıp alçalabileceğini veya daha geniş bir algıyla, her şeyi kapsayan çoklu evrenler içinde bizimkine benzer birçok evren olabileceğini iddia ediyor. Gerçekten de hâlâ evren hakkında bilmediğimiz birçok şey var. Belki gerçekliğin kimi cilvelerini ileride keşfedeceğiz veya insanlığın mirasçılarının yaşamaya devam etmesini sağlayacak ve şimdiye kadar akıl almaz gelen kimi teknolojiler ortaya çıkacaktır.

Ancak şimdilik, karanlıkta yolunu bulmaya çalışan hem öğrenci hem de kaşif biziz; evrenin kökeni, evrimi ve nihai kaderi hakkında bulabildiklerimizi topluyoruz, her şeyin başından sonuna kadar...

TEŞEKKÜR

Bu kitabı seçtiğiniz için teşekkürler. Kozmoloji kolay bir konu değil. Eski bir öğretmen, bir keresinde bunu bir uzaylıya bir futbol maçından fotoğraf gösterip, sırf bu görüntüden yola çıkarak tüm kuralları ve maç skorunu anlamasını beklemeye benzetmişti. Doğrusu bilim insanları mevcut olanın muhtemelen ancak ufak bir kısmını anlıyor. Ben de size bunun bir kısmını anlamanızda yardımcı olabildimse amacıma ulaştım demektir. Okuduğunuz için teşekkürler ve umarım keyif almışsınızdır.

Böylesi kapsamda ve büyüklükte bir kitap yazmayalı epey zaman olmuştu ve bunun gerçekte kimi zaman dostları ve aileyi bile ihmal etmeye neden olacak kadar hummalı bir taahhüt olduğunu, aslında zaman alıcı ve her şeyi emici olabildiğini unutmak çok kolay. Bu nedenle tüm dostlarıma ve aileme hem "teşekkür ederim" hem de "özür dilerim" demek istiyorum; özellikle de eşim ve aynı zamanda ortak yazar olan Gail Dixon'a kesintisiz sevgisi ve desteği için.

Bir büyük teşekkür de Michale O'Mara Books'a, bana bu kitabı oluşturma fırsatı sağladıkları için, özellikle de editörüm Jo Stansall'a genellikle sığ ve anlaşılmaz olan yazılarımı cilalı makaleler haline getirmeme yardım ettiği için. Gözden kaçan tüm hatalar tamamıyla bana aittir.

Son fakat bir o kadar da önemli teşekkürüm ise The Science Factory'deki daima cefakâr temsilcim olan Petter Tallack'e. Onun sarsılmaz sabrı ve inancı olmasaydı ben muhtemelen hâlâ Shoreditch'teki bir taslak bataklığının dibinde olurdum.

DİZİN

0-9

1919 40, 67, 75

2dF Gökada Kırmızıya Kayma Taraması 151

A

açısal güç spektrumu 118, 119

Adams, Douglas 163, 208

Adams, Fred 248

Albrecht, Andreas 176

Alpher, Ralph 94, 103

Amerikan Lazer Girişimölçer Kütleçekimsel Dalga Gözlemevi 273

Amerikan Lazer Girişimölçer Kütleçekimsel-Dalga Gözlemevi (LIGO) 273, 275, 276

Anderson, Carl 122

Andromeda 38, 39, 41, 43, 77, 181, 232, 235, 249

Anglo-Australian Telescope (AAT) 151

Anizotropi 152

Anti-elektronlar 137

antimadde 121, 122, 137, 144

antiparçacıklar 197

Apache Point Gözlemevi 183

Archimedes 27

Aristarchus, Samoslu 27

Compton 129

Astrophysical Journal 105

Aşırı kütleli karadelikler 193

Atbaşı Bulutsusu 113

atomlar 16, 78, 97, 101, 132, 218, 259, 278

Avcı 113, 181

Avrupa Uzay Ajansı (AUA) 116

Ay 23, 27, 30, 47, 52, 67, 118, 163

B

Balıklar-Balina Süperküme Kompleksi 182

Barkana, Rennan 190

Barrow, John 177

baryon akustik salınımları 160, 264

Başak Süperkümesi 181

Bell Laboratuvarları 104

berilyum 96

beşinci öz 159

Bethe, Hans 98

beyaz cüceler 114

beyaz dielektrik malzeme 104

bilimkurgu 169

Bondi, Hermann 88

Born, Max 134

bozon 124

Brahe, Tycho 49

British Interplanetary Society 209

Broek, Antonius van den 95

Broglie, Louis de 129

bulutsu 32, 38

Buridan'ın eşeği 215

büküm motoru 169

Büyük Açısal Ölçekli Kozmolojik Tarayıcı 245

Büyük Çöküş 20, 21, 230, 231, 234, 236, 237, 240, 246, 247, 258, 276

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı 61, 124, 173

Büyük Patlama 9, 11, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 46, 65, 80, 86, 87, 88, 89, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 114, 121, 122, 127, 141, 145, 146, 158, 159, 161, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 176, 179, 183, 185, 190, 191, 192, 193, 195, 196, 198, 201, 202, 203, 207, 210, 212, 213, 227, 228, 235, 236, 238, 239, 240, 242, 243, 244, 246, 248, 250, 255, 256, 257, 260, 263, 264, 266, 276, 278
Büyük Yırtılma 258, 259

C

Caldwell, Robert 158, 258
Carnegie Observatories 238
Casimir, Hendrik 155
Casimir etkisi 144, 155
Cassiopeia 181
CERN 61, 124, 173, 174, 265
Cerro Pachón 264
Chandrasekhar, Subrahmanyan 251
CMD 120
Nicolaus Copernicus 29, 74
CP-simetrisi 121

Ç

çekirdek bozunması 95
çekirdek kaynaşması 95, 97
çeper 241
çift yıldız sistemi 270
çoklu evren 206, 207, 208, 209, 212, 217, 220, 221, 222, 226, 227

D

dalga fonksiyonu 133, 135, 136, 200, 213, 221, 225
Dalga fonksiyonunun çöküşü 143
dalga-parçacık ikiliği 132, 134
Darwin, Charles 24
Dave, Rahul 158
Davisson, Clinton 131
Delta Cephei 41
Deutsch, David 223
Dev Sinoptik Tarama Teleskobu 264
DeWitt, Bryse 199
Dış çember 28
Dicke, Robert 104, 116
Digges, Thomas 29
din 13, 24, 25, 48
Dirac, Paul 122, 137
Doppler, Christian 42
Doppler etkisi 42, 43
Doroshkevich, Andrei 104
dönme hızı 111
döteryum 96, 97, 98, 119
Durağan Hal Kuramı 88, 89, 92, 93, 100, 101, 219, 239
Dünya 14, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 35, 38, 40, 42, 44, 46, 47, 50, 51, 53, 57, 58, 62, 64, 66, 70, 72, 73, 74, 79, 93, 100, 104, 109, 112, 115, 117, 118, 120, 122, 132, 149, 150, 151, 161, 164, 170, 181, 182, 185, 188, 202, 208, 211, 218, 219, 223, 232, 233, 234, 235, 240, 250, 251, 261, 263, 264, 265, 269, 270, 271, 272
Düzlük problemi 170
D-Wave Systems 223

E

ebedi enflasyon 212
Eddington, Arthur 67
Halley, Edmond 48
Einstein, Albert 18, 19, 46, 53, 70, 129, 153, 164, 196
Einstein Teleskobu 276
Elektromanyetizma 252
Elektronlar 35, 123
Elektrozayıf 141, 174
eliptik gökadalar 192
enerji koşulları 169, 258

enflasyon 10, 158, 166, 167, 171, 175, 176, 177, 178, 179, 183, 184, 185, 187, 198, 204, 205, 209, 211, 212, 217, 238, 242, 244, 248, 258, 277
Entropi 88, 239
eşevresizlik 136
evre geçişleri 166, 172, 212, 216, 236
evren 10, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 29, 40, 67, 69, 72, 73, 76, 80, 81, 82, 86, 87, 89, 90, 92, 93, 94, 96, 97, 101, 112, 114, 119, 120, 126, 127, 141, 144, 145, 147, 148, 152, 153, 154, 158, 160, 165, 167, 168, 171, 174, 176, 177, 179, 184, 185, 186, 188, 189, 193, 194, 196, 198, 201, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 212, 213, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 246, 247, 248, 253, 255, 257, 260, 273, 276, 278
Evrenin Beş Çağı 248
evrenin "kuantum" küçüklüğü 141
Evrenin Orijinal Kuramı veya Yeni Hipotezi 31
evrim 24
Exner, Franz 132

F

Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı 266
fermiyon 124
Feynman, Richard 138, 140, 200
Feynman şemaları 138
fotoelektrik etki 129
foton 105, 129, 130, 137, 138, 186.
Ford, Kent 110, 111
Fraunhofer, Joseph von 34
Friedmann, Alexander 73, 92

G

Galileo Galilei 29
Galileo'nun gözlemi 63
Gamow, George 94, 103, 196
Geleceğin Dairesel Çarpıştırıcısı 266, 267
Geniş Alan Kızılötesi Tarama Teleskobu 264
genişleyen uzay 70, 72, 73, 75, 76, 78, 86, 93, 154, 165, 171, 173, 248
Lester Germer 131
gezegenimsi bulutsu 233
Girişimölçer 273, 277
Glashow, Sheldon 174
Gold, Thomas 88
Goodricke, John 41
gökadalar 10, 11, 13, 16, 17, 75, 77, 78, 80, 86, 88, 89, 92, 93, 99, 104, 112, 116, 118, 120, 121, 145, 153, 176, 179, 182, 187, 189, 192, 194, 201, 208, 218, 229, 235, 236, 238, 249, 259, 263, 278
Gökkuşağı 33
Gök Kürelerin Devinimleri Üzerine 29
göreli hareket 54
görelilik 18, 19, 46, 54, 56, 60, 61, 62, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 81, 83, 84, 85, 87, 90, 125, 137, 141, 147, 165, 168, 169, 177, 200, 229, 265, 268, 270, 276
görünmez malzeme 110, 125
Guth, Alan 166, 179, 198
güçlü enerji koşulu 169, 258
Güneş 11, 12, 13, 14, 18, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 37, 39, 46, 48, 49, 50, 53, 62, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 74, 75, 79, 94, 95, 99, 104, 112, 113, 115, 149, 150, 175, 180, 181, 189, 192, 193, 208, 218, 232, 233, 235, 238, 249, 250,

251, 252, 256, 259, 261, 263, 265, 278
Güneş'in Isısal Yaşı Üzerine 256
Güneş sistemi 18, 46, 74, 235, 249
Güneş tutulması 26, 67, 75

H

Hale, George Ellery 40
Halley Kuyrukluyıldızı 48
Harding, Warren G. 67
Hartle, James 201
Hartle-Hawking durumu 202, 203
Hawking, Stephen 19, 48, 83, 183
hayalet enerji 21, 159, 160
HDM 120, 146
Heisenberg'in belirsizlik ilkesi 175
helyum 10, 11, 34, 96, 98, 99, 100, 119, 219, 233, 249, 257
Heisenberg, Werner 143
Herman, Robert 103
Her Şeyin Kuramı 199, 226
Hertog, Thomas 203
hidrojen 10, 11, 36, 37, 80, 82, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 111, 113, 133, 138, 154, 165, 189, 191, 233, 249, 257
Higgs bozonu 173
Higgs, Peter 173
Hilbert, David 64
Holmdel Horn Antenna radyo teleskobunu 104
holografik ilke 203
Hooke, Robert 48
Hooker Teleskobu 40, 41, 103
Hoyle, Fred 88, 92, 100, 219, 239
Hubble, Edwin 20, 40, 43, 73, 150, 268
Hubble Kanunu 75, 234
Hubble sabiti 44, 79, 110, 147, 159, 269, 272, 277
Hubble Ultra Derin Alan 182
Hubble Uzay Teleskobu 112, 150, 249, 262, 264
Huggins, William 42
Humason, Milton 20, 43, 73, 268

I

ıraksama 141
Isısal Ölüm 20, 21, 230, 247, 248, 255, 256, 258, 259, 260
ışık 13, 16, 17, 18, 21, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 66, 67, 79, 81, 99, 101, 109, 110, 112, 113, 115, 120, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 137, 149, 150, 151, 156, 160, 161, 164, 165, 168, 169, 172, 173, 175, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 190, 192, 194, 210, 211, 232, 234, 235, 249, 262, 269, 270, 272, 273, 274

İ

İki Büyük Dünya Sistemi Hakkında Diyalog 30
ilkel atom 79
ilkel çekirdek oluşumu 106
ince ayar sorunu 157
insancı ilke 219
izotoplar 96, 97

J

James Webb Uzay Teleskobu 262
Jordan, Pascual 197
Journal of High Energy Physics 204
Jüpiter 50

K

kahverengi cüce 113
Kamioka Kütleçekimsel Dalga Dedektörü 275
Kant, Immanuel 31
kaotik 15, 23, 178, 204
kaotik enflasyon 178
karadelik buharlaşması 254, 255.
karadelikler 85, 86, 112, 192, 193,

236, 238, 253, 254, 255, 272, 276
karanlık enerji 17, 20, 21, 126, 153, 154, 155, 158, 159, 161, 174, 208, 217, 218, 220, 230, 242, 258, 264, 265, 268
karanlık madde 16, 17, 107, 108, 110, 112, 113, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 146, 153, 190, 263, 264, 267
karışık karanlık madde (KKM) 146
Kavli Astrofizik Ödülü 179
kavrulmuş (ekpirotik) evren kuramı 241
Kelvin, Lort (William Thomson) 255
Kepler, Johannes 49
kırınım 33, 132
Kirchhoff, Gustav 34
Kozmik Gökada Dışı Kutuplaşma Arka Planının Görüntülenmesi 244
kozmik mikrodalga arka plan ışıması 235
kozmolojik ilke 74, 77, 92
kozmolojik sabit 72, 149, 152, 157, 167
Kozmolojik Sabit Geri Döndü 148
kozmolojik ufuk 185
Krauss, Lawrence 148, 257
kuantum alan kuramı 139, 140, 145, 173
kuantum bilgisayarları 223
kuantum bit 223
kuantum elektrodinamiği 223
kuantum kozmolojisi 203
kuantum kuramı 139, 184, 200, 209, 230, 251
kuantumla intihar 226
kuantum mekaniği 35, 37, 123
kuantum parçacıklar 136
kuantum renk dinamiği 140
kuantumsal dalgalanmalar 184, 185
kuantum spini 137
kuantum tünelleme 175
kuarklar arasındaki etkileşim 140
kuazar 112, 192, 193
kuazarlar 193, 263
kubit 223
Kum Sayacı 27
kutuplaşma 243, 245, 276
kuyrukluyıldız 32, 181
küresel küme 190
kütleçekim 16, 17, 18, 31, 51, 52, 53, 54, 62, 63, 64, 66, 70, 72, 73, 80, 86, 87, 108, 109, 110, 116, 142, 149, 153, 155, 158, 171, 188, 191, 198, 199, 200, 202, 214, 218, 238, 243, 247, 267
kütleçekimsel mercekleme 160, 264
kütleçekimsel mikromercekleme 114
kütle-ışık-oranı 110
kütleitimi 148, 155
kütle yoğunluğu 101, 167

L

Laflamme, Raymond 241
Lagrange noktaları 263
Lamb, Willis 138
Lambda 146, 147, 148, 152, 153, 159
Lamb kayması 138, 144
Laniakea Süperkümesi 181, 182
Laughlin, Gregory 248
Lazer Girişimölçer Kütleçekimsel Dalga Gözlemevi 273
Lazer Girişimölçer Uzay Anteni 277
Leavitt, Henriette Swan 41
Leibniz, Gottfried 50
Lemaître, Georges 19, 74, 92, 228
Le Verrier, Urbain 65
Lewis, Gilbert 129
LISA Pathfinder 277
Liddle, Andrew 177

Linde, Andrei 176, 178, 205
Lir 39
lityum 10, 96, 98, 100
Lowell 42
Lowell Gözlemevi 42

M

manyetik tek kutup 166
Marduk 23
Mather, John 116
maviye kayma 235
Maxima 151
Maxwell, James Clerk 55
Méchain, Pierre 32
mekanik enerji 255
Merkür 65, 66, 72
Merli, Pier 134
Messier, Charles 20, 32, 71, 181
Mezopotamya 23
Milton, Milton 43
Mini-süperuzay yaklaşımı 200
Missiroli, Gian 134
Moravec, Hans 224
Mount Wilson 40, 103
Mount Wilson Gözlemevi 40
Mutlak sıfır 103, 114, 115, 128

N

NASA 115, 116, 152, 238, 262, 264
Nature 95, 269
negatif basınç 155, 170, 174, 238
Neves, Juliano César Silva 238
Newton, Isaac 19, 24, 34, 47, 130, 208
Nimmo, Andy 209, 220
Nobel ödülü 41, 129, 138
Noether, Emmy 213
Noether kuramı 213
Nordström, Gunnar 71
nova 38
Novikov, Igor 104
nötrinolar 120, 266, 267
nötron 10
nötronlar 10, 35, 37, 96, 97, 98, 108, 114, 140, 236, 252, 259, 269, 270, 271, 272, 276
nötron yıldızları 108, 114, 270, 271.
nükleosentez 103, 106, 119, 196, 257

O

Ocak Kümesi 77
Oort, Jan 108
Oppenheimer, Robert 238
Otostopçunun Galaksi Rehberi 208
Ozzi, Giulio 134

Ö

Öbek III yıldızları 189, 248
Öbek II yıldızları 189
Öbek I yıldızları 189
özyıkım hipotezi 234

P

Pangu 23
Parsek 79
Pauli, Wolfgang 97, 251
Pauli dışlama ilkesi 251
Peccei, Roberto 122
Peebles, James 104
Penrose, Roger 83, 85
Penzias, Arno 20, 104
perdeleme 144
Perlmutter, Saul 146, 149
Pickering, Edward 39
Planck, Max 116, 128
Planck dönemi 10, 87, 198, 202
Planck Mikrodalga Arka Plan Sondası 116
Planck sabiti 128, 129
Planck uzay aracı 152
Plüton 219
Poincaré, Henri 108
pozitronlar 137

Principia 48, 51, 53
proton 10, 35, 68, 95, 96, 97, 98, 140, 213, 236, 251, 252, 259.

Q

Quinn, Helen 122

R

Reissner, Hans 71
rezonans 219
Riemann, Bernhard 64
Riess, Adam 149
Robertson, Howard 83
Roll, Peter 104
Rubin, Vera 110, 111

S

Sachs, Rainer 186
Sachs-Wolfe etkisi 186
Saç Kümesi 109, 110
sahte vakum 174, 175, 176
Salam, Abdus 174
Kum sayacı 174
Samanyolu 11, 20, 22, 31, 38, 39, 41, 43, 44, 46, 71, 79, 93, 108, 110, 147, 180, 181, 190, 193, 210, 232, 235, 249, 250, 259
sanal parçacıklar 143, 144, 156, 175, 184, 254
sarmal 38, 39, 40, 43, 66, 71, 110, 111, 180, 181, 189, 191, 192, 194, 232, 249, 253, 269, 270
Scherrer, Robert 257
Schmidt, Brian 149
Schrödinger, Erwin 132
Schrödinger'in denklemi 133, 134
Schutz, Bernard 269, 271
Schwarzschild, Karl 70
Schwinger, Julian 138
Sciama, Dennis 84
Scott, David 47
Sefeidler 41, 150
Shapley, Harlow 38, 71
sıcak karanlık madde (HDM) 120
Sınırsız Teklif 201
sicim kuramı 142, 214
Siding Spring 151
Siding Spring Gözlemevi 151
skaler alanlar 173
Vesto Slipher 42
Sloan Dijital Gökyüzü Taraması 182
Sloan Seddi 182, 188
Smoot, George 116
soğuk karanlık madde (CDM) 120, 121, 146, 147, 148, 151, 152, 159, 188
Sonsuz Evren ve Dünyalar Üzerine 209
standart kandil 38, 268
standart model 141
standart siren yöntemi 272
Starobinsky, Alexei 179
Star Trek 169
Steinhardt, Paul 158, 176, 179, 241
steril 266, 267
steril nötrino 266
Stonehenge 24
Süper-Kamiokande nötrino dedektörü 120
süperkümeler 147, 180, 182, 218, 236
Süpernova 149, 159
Süpernova Kozmoloji Projesi 149
süpersimetri 123, 124

T

tayfbilim 33
Tegmark, Max 209, 224
Tegmark'ın seviyeleri 210, 211, 220, 226
tekillik 83, 85, 86, 87, 171, 195, 237
tekillikler 171
tek kutup sorunu 166, 171.
teleskop 20, 40, 182, 209, 263, 264
termodinamiğin ikinci kanunu 89, 239

termonükleer tepkime 95
Thomson, William 255
Tiamat 23
Tip Ia 149, 150, 269
Tip [redacted] süpernova 269
Tolman, Richard 238
Sin-Itiro Tomonaga 138
Tryon, Edward 197
Tully, Richard Brent 182
Turner, Michael 148, 153
Turok, Neil 241

U

ufuk problemi 163, 242
uydu navigasyon 67
uzayzaman 60, 64, 67, 217, 220, 252, 260, 273

V

vakum baskınlığı 167, 178
vakum enerjisi 144, 154, 167, 175, 230
vakum evren 147
Varahamihira 46
Venüs 30, 219, 233
Virgo projesi 273
Volkov, George 238

W

Walker, Arthur 83
Webb, James 262, 265
Weinberg, Steven 157, 174, 176
Wheeler, John Archibald 199
Wilkinson, David 104, 116
Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlük Sondası 116
Willughby, Francis 51
Wilson, Robert 20, 104
Wolfe, Arthur 186
Wollaston, William Hyde 34
Wright, Thomas 31, 44

Y

yaratılışçılık 24
yavaş yuvarlanmalı enflasyon 177
yeniden birleşme 11, 102
yeniden ısınma 176, 179
yeniden normalleştirme 142
Yeni Nesil Uzay Teleskobu 262
Yerel Grup 181, 249, 250, 259
Yerkes 40
Yerkes Gözlemevi 40
yol integrali yaklaşımı 138, 200
Young, Thomas 130, 131, 135
Yönlü Geri Çekilmelerin İzlerden Tanımlanması 124
yuvarlar 130
yüksek kütleli sıkı astrofiziksel hale cisimleri 113
Yüksek-Z Süpernova Arama Ekibi 149

Z

zaman genişlemesi 57, 150
Zaman simetrisi 213
zarif çıkış sorunu 176
zayıf etkileşimli yüksek kütleli parçacık 123
Zeh, H. Dietr 136
Zel'dovich, Yakov Borisovich 100, 156, 188
Zwicky, Fritz 108


mayakitap



Uzay, zaman ve madde, 13,8 milyar yıl önce Büyük Patlama olarak bilinen bir olay sonucunda ortaya çıktı.

Birçok galaksiden birindeki bir yıldızın etrafında dolanan bir gezegende olduğumuzu fark edişimizden, evrenin genişlediğini keşfedişimize ve Einstein'ın bugünkü Büyük Patlama kozmolojisine temel oluşturan çığır açıcı kuramlarına kadar her yeni keşif, evrenimizin kökenine dair kavrayışımızı daha da derinleştiriyor ve nasıl sonlanacağına dair daha berrak bir resim elde etmemizi sağlıyor.

En sonunda yanacak mıyız yoksa silikleşecek miyiz? Evrenin yeniden bir genişleme evresine geçmesi kaçınılmazsa, "son" olarak adlandırdığımız şey aslında yeni bir başlangıcın sinyali olabilir mi? Büyük Patlama, esasen pek çok patlamadan sadece biri miydi ve amacı da kâinatımızı, yayılan çoklu evrenlerin sadece ufak bir parçası kılmak mıydı?

maya dükkan

www.mayayayinlari.com

ISBN: 978-625-8361-10-0

mayakitap

mayakitap inceleme