

3

Genişleyen Evren

Ayın ve bulutların olmadığı bir gecede gökyüzüne baktığımızda göreceğimiz en parlak nesnelere muhtemelen Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn gezegenleri olur. Güneşimize benzeyen, ancak bizden çok daha uzaktaki neredeyse sayısız yıldız da görürüz. Dünya güneşin etrafında döndükçe bu sabit yıldızların bazılarının aslında birbirlerine göreli konumlarında çok az da olsa bir değişim olduğu görülür: Aslına bakarsanız hiç de sabit değildirlere! Bu durum bu yıldızların bize diğerlerine göre yakın olmalarından kaynaklanır. Dünya güneşin etrafında hareket ettikçe biz bu yıldızları ardalandaki daha uzaktaki yıldızlara göre farklılaşan konumlarda görürüz. Bunu bir şans olarak değerlendirmeliyiz, çünkü bu sayede bu yıldızların bizden uzaklıklarını doğrudan ölçebiliriz: Bize ne kadar yakınlarsa, o kadar hareketli görünürler. Proxima Centauri adını verdiğimiz en yakın yıldızın bizden yaklaşık dört ışık yılı uzakta (bu yıldızın ışığının dünyaya ulaşmasının yaklaşık dört yıl aldığı anlamına gelir), diğer bir deyişle yaklaşık 40 trilyon kilometre uzağımızda olduğu tespit edilmiştir. Çıp-

lak gözle görülebilen diğer yıldızların çoğu bizden birkaç yüz ışık yılı uzaktadır. Bir karşılaştırma yaparsak güneş bizden sadece sekiz ışık dakikası uzaktadır! Gördüğümüz yıldızlar bize geceleyin gökyüzünün her tarafına yayılmış gibi görünürler, oysa Samanyolu adını verdiğimiz bir şeridin içinde özellikle yoğunlaşmışlardır. 1750 yılı gibi erken bir tarihte bile bazı gökbilimciler, Samanyolu'nun sahip olduğu bu görünümün ancak görünür yıldızların çoğu bugün sarmal galaksi adını verdiğimiz özel bir disk şeklinde konumlanmışsa açıklanabileceği düşüncesindeydi. Aradan sadece birkaç on yıl geçtikten sonra gökbilimci Sir William Herschel çok sayıda yıldızın konum ve uzaklıklarını zahmetli bir uğraşla listeleyerek bu düşüncenin doğruluğunu gösterdi. Buna rağmen bu fikrin genel kabul görmesi ancak 20. yüzyılın başında gerçekleşti.

Modern evren algımızın oluşmasının tarihini 1924 yılında Amerikalı gökbilimci Edwin Hubble'ın bizim galaksimizin evrende yalnız olmadığını göstermesiyle başlatabiliriz. Evrende aralarında geniş, boş uzay sahaları olan birçok başka galaksi daha vardı. Kanıt için Hubble'ın bu diğer galaksilerin uzaklıklarını tespit etmesi gerekiyordu ve bu galaksiler yakınımızdaki yıldızlardan farklı olarak gerçekten gökyüzünde sabit görünecek ölçüde uzağımızdaydılar. Bu yüzden bu uzaklıkları ölçmek için dolaylı yöntemler kullanmak zorundaydı. Bir yıldızda gördüğümüz parlaklık iki etmene bağlıdır: Ne kadar ışık yaydığı (ışınım gücü) ve bizden ne kadar uzakta olduğu. Yakındaki yıldızların görünen parlaklıklarını ve bizden uzaklıklarını ölçebiliriz ve böylece ışınım güçlerini hesaplayabiliriz. Tersinden, başka galaksilerdeki yıldızların ışınım güçlerini biliyorsak, görünen parlaklıklarını ölçerek bizden uzaklıklarını tespit edebiliriz. Hubble çalışması esnasında ölçmemize izin verecek ölçüde yakında olan bazı yıldızların hep aynı ışınım

gücüne sahip olduklarını fark etti. Bu yüzden başka bir galakside bu türden yıldızlar bulursak, bunların da aynı ışınım gücüne sahip olduklarını varsayabilir ve böylece bu galaksinin uzaklığını hesaplayabiliriz diye düşündü. Bunu aynı galaksideki bir dizi yıldızda yapar ve hesaplamalarımız hep aynı uzaklığı verirse, güvenilir bir tahmin yaptığımızı söyleyebiliriz.

Edwin Hubble dokuz farklı galaksinin mesafesini bu şekilde ölçtü. Bugün galaksimizin modern teleskoplar kullanılarak gözlemlenebilen yüz milyarlarca galaksiden sadece biri olduğunu ve her bir galaksinin içerisinde de yüz milyarlarca yıldızın yer aldığını biliyoruz. Şekil 3.1'in başka bir galakside yaşayan birinin gözünden bizim galaksimizin nasıl görünüyor olabileceğine ilişkin bir tahmin olduğunu söyleyebiliriz. Bizler yaklaşık yüz bin ışık



Şekil 3.1

yılı genişliğindeki, ağır ağır dönen bir galakside yaşıyoruz. Galaksimizin sarmal kollarında yer alan yıldızlar galaksi merkezi etrafındaki dönüşlerini yaklaşık birkaç yüz milyon yılda bir tamamlıyorlar. Güneşimiz de bu sarmal kollardan birinin iç kenarının yakınında yer alan, sıradan, ortalama büyüklükte, sarı bir yıldız. Dünyanın evrenin merkezinde olduğunu düşündüğümüz Aristoteles ve Ptolemaios'tan bugüne çok uzun bir yol kat ettiğimizse kesin!

Yıldızlar gözümüze ufacık ışık noktaları olarak görünecek ölçüde bizden uzaktır. Onların boyutlarını veya şekillerini göremeyiz. Öyleyse farklı türde yıldız olduğunu nasıl böyle uzaktan söyleyebiliyoruz? Yıldızların ezici çoğunluğunun gözlemleyebildiğimiz sadece bir ayırıcı özelliği vardır: Işıklarının rengi. Newton, güneş ışığının prizma denilen üçgen şekilli bir cam parçasından geçtiğinde, tıpkı gökkuşağındaki gibi, bileşiminde yer alan renklere (tayfına) ayrıştığını keşfetmişti. Bir teleskobu bir yıldız veya bir galaksiye odaklayarak benzer biçimde o yıldız veya galaksiden kaynaklanan ışığın tayfını gözlemek mümkündür. Yıldızlar farklı tayflara sahiptir, ancak farklı renklerin görelî parlaklığı kıpkırmızı halde parlayan bir nesnenin yaydığı bir ışıkta ne bulmayı bekliyorsak her zaman onunla tam olarak aynıdır. (Aslında kıpkırmızı halde parlayan opak nesnelerin yaydığı ışık, ısı tayf adını verdiğimiz ve sadece nesnenin sıcaklığına bağlı olan ayırıcı özellikte bir tayfa sahiptir. Bu şu anlama gelir: Işığının tayfından yola çıkarak bir yıldızın sıcaklığını söyleyebiliriz.) Dahası yıldızların tayflarında belirli bazı renklerin yer almadığını ve bu kayıp renklerin de yıldızdan yıldızla değişebileceğini tespit etmiş durumdayız. Her kimyasal elementin kendisine özgü belirli bazı renk kümelerini soğurduğunu bildiğimiz için, bunları herhangi bir yıldızın tayfında eksik olanlarla eşleştirme yoluyla

söz konusu yıldızın atmosferinde hangi elementlerin bulunduğunu tam olarak tespit edebiliriz.

1920'li yıllarda gökbilimciler başka galaksilerdeki yıldızların tayflarına bakmaya başladıklarında çok garip bir şey buldular: Kendi galaksimizdeki yıldızlarda aynı ayırıcı özellikte kayıp renk kümeleri vardı, ancak bunların hepsi aynı görelî miktarda tayfın kırmızı sonuna doğru kaymışlardı. Bunun sonuçlarını anlamak için önce Doppler etkisini bilmemiz gerekiyor. Daha önce bahsettiğimiz üzere görünür ışık, elektromanyetik alandaki dalgalanmalardan veya dalgalardan oluşmaktadır. Işığın dalga boyu (veya bir dalga tepesi ile izleyen tepe arasındaki uzaklık) olağanüstü küçüktür, bir metrenin on milyonda dördü ile yedisi arasında yer alır. İnsan gözünün farklı renkler olarak gördüğü şeyler, aslında ışığın farklı dalga boylarıdır. En uzun dalga boyları tayfın kırmızı sonunda, en kısa renk de tayfın mavi sonunda görülenlerdir. Şimdi bizden sabit uzaklıkta bir ışık kaynağı hayal edin, bu örneğin sabit bir dalga boyunda ışık dalgaları yayan bir yıldız olsun. Bize ulaşan dalgaların dalga boyları, kaynaktan yayıldıkları dalga boylarıyla aynı olacaktır. (Galaksinin kütleçekim alanı önemli bir etkide bulunacak kadar büyük olmayacaktır.) Şimdi kaynağın bize doğru hareket etmeye başladığını varsayalım. Kaynak, ikinci dalga tepesini yaydığı anda bize daha yakın olmuş olacak; dolayısıyla dalga tepeleri arasındaki uzaklık da yıldızın hareketsiz olduğu duruma göre daha küçük olacaktır. Bu bize ulaşan dalgaların dalga boylarının yıldızın hareketsiz olduğu duruma göre daha kısa olacağı anlamına gelir. Aynı şekilde eğer kaynak bizden uzaklaşıyorsa, bu kez dalgaların dalga boyları daha uzun olacaktır. Bu yüzden ışık açısından bu, bizden uzaklaşan yıldızların tayflarının tayfın kırmızı sonuna doğru kayarken (kırmızıya kayma), bize doğru gelenlerde tayfların maviye kayacağı anlamı-

na gelir. Dalga boyu ile hız arasında var olan ve Doppler etkisi adı verilen bu ilişkiyle günlük deneyimizde de karşılaşırız. Yoldan geçen bir arabaya kulak verin: Araba yaklaşırken motor sesi daha yüksek perdeden duyulur (ses dalgaları açısından bu daha kısa bir dalga boyuna ve daha yüksek bir sıklığa karşılık gelir), yanımızdan geçip uzaklaştığındaysa ses daha düşük perdeden duyulur. Işığın ve radyo dalgalarının hareketi birbirine benzer. Hatta trafik polisleri de kendilerine yansıyan radyo dalgalarının titreşimlerinin dalga boylarını ölçme yoluyla araçların hızını belirlerken Doppler etkisinden faydalanmaktadır.

Başka galaksilerin var olduğunu kanıtlamasının ardından gelen yıllarda Hubble zamanını bu galaksilerin uzaklıklarını belirlemeye ve tayflarını gözlemlemeye adanmıştı. O dönemde insanların çoğu galaksilerin gayet gelişmiş ve dolayısıyla maviye kayan galaksilerin sayısının kırmızıya kayanlarla aynı olmasını bekliyordu. Bu yüzden galaksilerin çoğunun kırmızıya kaymış çıkması gerçek bir sürpriz oldu: Neredeyse hepsi bizden uzaklaşıyordu! Hubble'ın 1929 yılında yayınladığı bulgu daha da şaşırtıcıydı: Bir galaksinin kırmızıya kaymasının boyutları bile rastgele değildir, galaksinin bizden uzaklığıyla doğru orantılıdır. Veya başka ifadeyle söylersek, bir galaksi bizden ne kadar uzaksa, bizden o kadar hızlı bir biçimde daha fazla uzaklaşmaktadır! Bu da evrenin herkesin daha önce düşündüğü gibi durağan olamayacağı, aslında genişlediği anlamına gelir; galaksiler arasındaki uzaklık sürekli artmaktadır.

Evrenin genişlemesinin keşfi, yirminci yüzyılın en büyük entelektüel devrimlerinden biridir. Geriye dönüp baktığımızda bunu daha önce kimsenin akıl etmemiş oluşuna şaşırmanın mümkündür. Newton'un ve diğerlerinin durağan bir evrenin bir süre sonra kütleçekim kuvveti-

nin etkisiyle büzüşmeye başlayacağını görmeleri gerekirdi. Bunun yerine evrenin genişlediğini varsayalım. Biraz yavaş biçimde genişliyor olsaydı, kütleçekim kuvveti en nihayetinde genişlemeyi durdurur ve bunun ardından da evrenin büzüşmesini sağlardı. Ancak belirli bir kritik oranın üzerinde genişliyor olsaydı, kütleçekim bunu durduracak kadar kuvvetli olmaz ve evren sonsuza dek genişlemeye devam ederdi. Bu biraz dünya yüzeyinden yukarıya doğru bir roket fırlattığımızda olanlara benzetilebilir. Biraz yavaş bir hıza sahipse, kütleçekim en nihayetinde roketi durdurur ve roket geri düşmeye başlar. Öte yandan roket belirli bir kritik hızdan (saniyede yaklaşık on bir kilometre) daha fazlasına sahipse kütleçekim onu geri çekmeye yetecek ölçüde kuvvetli olmayacak, dolayısıyla roket dünyayı terk etmeyi başaracaktır. Newton'un kütleçekim kuramından yola çıkılarak, evrenin bu biçimde hareket edeceği on dokuzuncu, on sekizinci, hatta on yedinci yüzyılda dahi tahmin edilebilirdi. Ancak durağan evrene olan inanç yirminci yüzyılın başına dek ayakta kalacak ölçüde sağlamdı. Einstein bile 1915 yılında genel görelilik kuramını oluşturduğunda evrenin durağan olması gerektiğinden öyle emindi ki, bunu mümkün kılmak için kuramını gözden geçirdi ve denklemlerine kozmolojik bir sabit ekledi. Einstein yeni bir "karşı-kütleçekim" kuvveti ortaya atarak bunun diğer kuvvetlerden farklı olarak belli bir kaynaktan gelmediğini ve uzayzamanın dokusunda saklı olduğunu öne sürdü. Uzayzamanın içkin bir genişleme eğiliminde olduğunu, evrende var olan bütün maddelerin çekimini dengelemek için ancak bunun yapılabileceğini ve böylelikle de durağan evren sonucuna ulaşabileceğini iddia etti. Görünen o ki, sadece bir adam genel göreliliği gördüğü gibi kabul etmeye istekliydi: Einstein ve diğer fizikçiler genel göreliliğin durağan olmayan evren öngörüsünden kaçınmanın yollarını arar-

ken, Rus fizikçi ve matematikçi Alexander Friedmann bu durumu açıklamaya girişti.

Friedmann evren hakkında çok basit iki varsayımda bulundu: Evren hangi yöne bakarsak bakalım özdeş görünür ve bu biz evreni başka bir yerden gözlüyor olsak da doğrudur. Sadece bu iki fikirden yola çıkarak Friedmann evrenin durağan olmasını bekleyemeyeceğimizi gösterdi. Aslında 1922 yılında, Hubble'ın keşfi gerçekleşmeden birkaç yıl önce Friedmann, Hubble'ın bulgusunu tam olarak tahmin etmişti!

Evrenin her yönden aynı görüldüğü varsayımının gerçekte doğru olmadığı açıktır. Örneğin galaksimizdeki diğer yıldızların geceleyin gökyüzünde Samanyolu adını verdiğimiz belirgin bir ışık şeridi oluşturduğunu söylemiştik. Ancak uzak galaksilere baktığımızda onlarda da aşağı yukarı aynı sayıda yıldız var gibi görüldüğünü söyleyebiliriz. Dolayısıyla ancak evrene galaksiler arasındaki uzaklıklarla karşılaştırıldığında daha büyük bir ölçekten bakılması ve küçük ölçeklerdeki farkların göz ardı edilmesi şartıyla, evrenin kabaca her yönde aynı görüldüğü söylenebilir. Uzun bir dönem boyunca bu söylediğimiz, Friedmann'ın varsayımının gerçek evrene ilişkin kaba bir yaklaşım olduğunu gerekçelendirmeye yetti. Ancak daha yakın bir geçmişte şans eseri yaşadığımız bir olay, Friedmann'ın varsayımının aslında evrenin önemli ölçüde doğru bir betimlemesi olduğunu açığa çıkarttı.

1965 yılında New Jersey'deki Bell Telefon Laboratuvarında Arno Penzias ve Robert Wilson isimli iki Amerikalı fizikçi çok duyarlı bir mikrodalga algılayıcısını test etmekteydiler. (Mikrodalgalar da tıpkı ışık dalgaları gibidir, sadece dalga boyları yaklaşık bir santimetredir.) Penzias ve Wilson algılayıcılarının kaydettiği gürültünün olması gerekenden daha fazla olduğunu fark ettikleri için kaygılıydılar. İşin kötüsü gürültü belirli bir yönden geliyor gibi

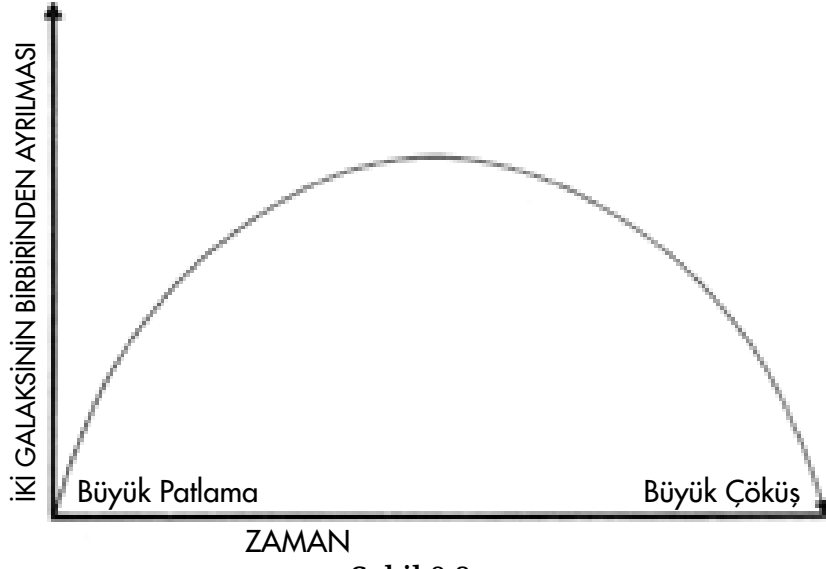
de görünmüyordu. Önce antenlerine kuşların pislemiş olduğunu tespit ettiler, buna benzer başka sorunlar olup olamayacağını kontrol ettiler, ama kısa zamanda asıl nedenin bunların hiçbiri olmadığı açığa çıktı. Eğer anten onların yaptığı gibi yukarıya doğru yönlendirilmiş olmasa, atmosfer içerisindeki herhangi bir gürültünün ellerindekinden daha güçlü olacağını biliyorlardı; çünkü ışık ışınları anten ufkı doğru yöneltilerek alındığında, doğrudan başlarının üzerinden alınmasına göre daha fazla atmosferin içinde hareket eder. Anten hangi yöne yöneltilirse yöneltilsin karşılaştıkları fazladan gürültü aynı kalıyordu, dolayısıyla atmosferin dışından geliyor olmalıydı. Dünya kendi eksenini ve güneşin etrafında dönmesine karşın gürültü gece ve gündüz, hatta bütün yıl boyunca aynı kalıyordu. Bu ışımaların güneş sisteminin ötesinden, hatta galaksinin de ötesinden geldiğinin göstergesiydi; aksi halde dünyanın hareketi anteni farklı yönlere çevirdiğinde ışımaya da değişirdi.

Aslına bakarsanız bu ışımaların bize ulaşmadan önce gözlenebilen evrenin büyük bölümünü aşmış olması gerektiğini, keza görünüşe göre bu ışımaya farklı yönlerde aynı olduğuna göre, evrenin de geniş ölçekte bakarsak her yönde aynı olması gerektiğini biliyoruz. Bugün hangi yöne bakarsak bakalım, gürültüdeki değişimin asla çok küçük bir miktarı geçmeyeceğini de biliyoruz: Dolayısıyla Penzias ve Wilson şans eseri Friedmann'ın ilk varsayımının çarpıcı kesinlikte bir doğrulamasına ulaşmışlardır. Ancak evren her yönde tam olarak değil, sadece büyük ölçekte ortalama olarak aynı olduğu için, mikrodalgalar da her yönde tam olarak aynı olamazlar. Farklı yönler arasında küçük farklılıklar olması gerekir. Yaklaşık yüz binde bir düzeyindeki bu sapmaların varlığı ilk olarak Kozmik Aralan Kaşifi Uydusu COBE tarafından 1992 yılında tespit edildi. Küçük olmasına karşın bu sapmaların

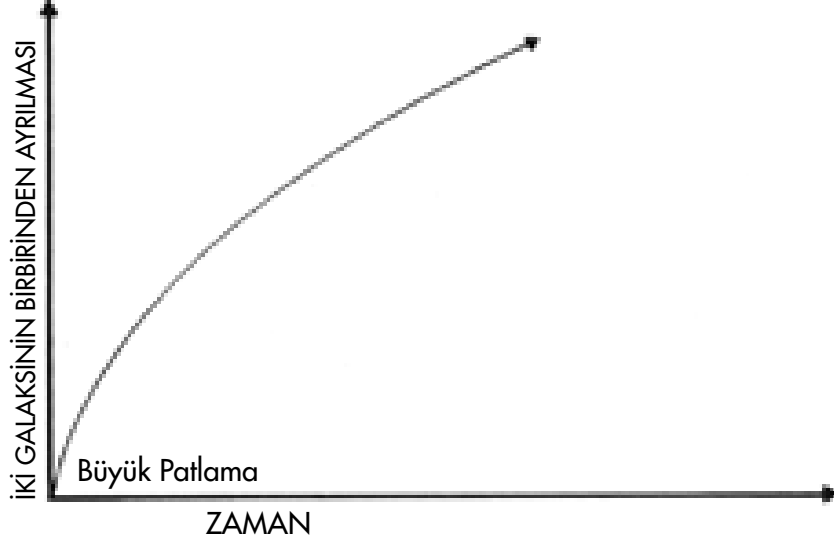
varlığı 8. Bölümde anlatmaya çalışacağımız üzere oldukça önemlidir.

Penzias ve Wilson'un antenlerindeki sesi araştırmalarıyla hemen hemen eşzamanlı olarak yakındaki Princeton Üniversitesinden iki Amerikalı fizikçi Bob Dicke ve Jim Peebles da mikrodalgalar konusunda bir çalışma yürütmekteydiler. (Bir zamanlar Alex Friedmann'ın öğrencisi olmuş) George Gamow'un erken evrenin çok sıcak, yoğun ve akkor parlaklığında olması gerektiği yönündeki varsayımı üzerine çalışıyorlardı. Dicke ve Peebles erken evrenin ışıldamasını halen görüyor olabileceğimizi öne sürdüler; onun çok uzaktaki parçalarından gelen ışık bize ancak şimdi ulaşıyor olabilirdi. Ancak evrenin genişlemesi bu ışığın o derece kırmızıya kaymasını gerektiriyordu ki, ışık bugün bize mikrodalga ışması olarak görünebiliyordu. Penzias ve Wilson onların çalışmalarını duyup bulduklarının tam da bu olduğunu anladıklarında, Dicke ve Peebles henüz sözü edilen ışımayı arama hazırlığındaydılar. Bu yüzden 1978 yılında Nobel'e layık görülenler Penzias ve Wilson oldu. (Bunu hazmetmek Dicke ve Peebles için biraz zor olsa gerek ki siz bir de Gamow'u düşünün!)

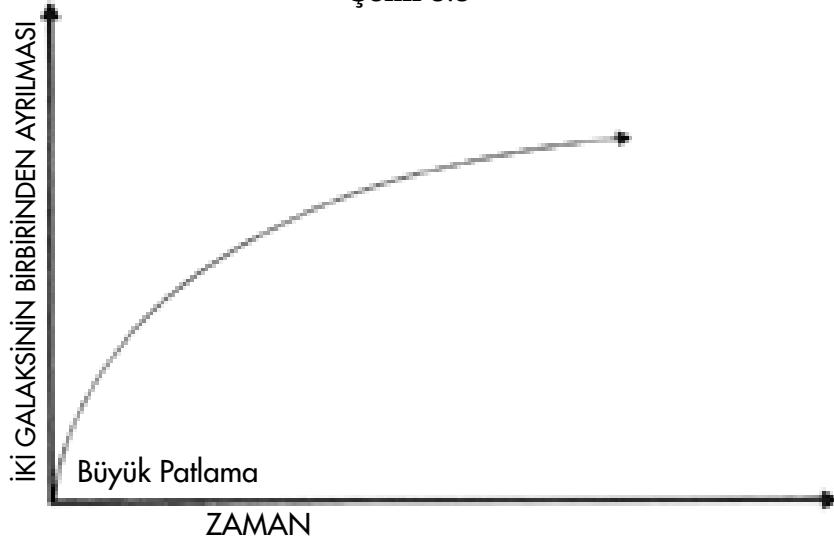
Evrenin hangi yöne bakarsak bakalım aynı gözüküşüne ilişkin elimizdeki tüm bu kanıtlar ilk bakışta bizim evrendeki yerimizin özel olduğu yönünde bazı kuşkular doğurmuş olabilir. Özellikle de eğer tüm galaksilerin bizden uzaklaştığını görüyorsak, bu durumda evrenin merkezindeyiz demektir şeklinde bir düşünce olabilir. Ancak bunun farklı bir açıklaması da var: Evren başka bir galaksiden bakıldığında da her yönde aynı gözüküyor olabilir. Daha önce belirttiğimiz gibi Friedmann'ın ikinci varsayımı da buydu zaten. Bu varsayımın lehinde veya aleyhinde herhangi bir bilimsel kanıtı sahip değiliz. Buna sadece mütevazılık gereği inanıyoruz: Evren bizim



Şekil 3.2



Şekil 3.3



Şekil 3.4

etrafımızda her yönde aynı gözüküp de evrendeki diğer noktalarda aynı gözükme bu son derece tuhaf olurdu! Friedmann'ın modelinde galaksilerin hepsi birbirinden doğrudan uzaklaşır. Durum daha çok üzerine boyayla bazı noktalar eklenmiş bir balonun durmadan şişirilmesine benziyor. Balon genişledikçe tüm noktalar arasındaki mesafeler büyüyor, ama genişlemenin merkezi olarak adlandırılabilir bir nokta yok. Dahası noktalar birbirinden ne kadar uzaksa birbirlerinden uzaklaşmaları da o kadar hızlı oluyor. Benzer biçimde Friedmann'ın modelinde de iki galaksinin birbirinden uzaklaşma hızı arasındaki uzaklıkla orantılı. Dolayısıyla bu modelde de tam da Hubble'ın bulduğu gibi, bir galaksinin kırmızıya kaymasının bizden uzaklığıyla doğru orantılı olması gerektiği öngörülüyor. Modelindeki genel ve Hubble'ın gözlemlerini öngörmekteki özel başarısına rağmen Friedmann'ın çalışması, Hubble'ın evrenin düzgün genişlediği yönündeki keşfinin ardından benzer modeller 1935'te Amerikalı fizikçi Howard Robertson ve İngiliz matematikçi Arthur Walker tarafından keşfedilene dek Batıda fazla ün kazanmadı.

Friedmann bunlardan sadece bir tanesini bulmasına rağmen, aslında Friedmann'ın iki temel varsayımını karşılayan üç farklı model vardır: Friedmann'ın bulduğu birincisinde evren, farklı galaksiler arasındaki kütleçekimin genişlemeyi yavaşlatacağı ve en sonunda durduracağı bir yavaşlıkta genişlemektedir. Ardından galaksiler birbirine doğru hareket etmeye başlar ve evren büzülür. Şekil 3.2 iki komşu galaksi arasındaki uzaklığın zaman ilerledikçe nasıl değiştiğini göstermektedir. Sıfırdan başlar, bir doruk noktasına doğru artar ve ardından tekrar sıfıra doğru azalır. İkinci tür çözümdeyse evren öylesine hızlı genişler ki, kütleçekim onu biraz yavaşlatsa da durduramaz. Şekil 3.3 bu modeldeki komşu galaksiler ara-

sındaki uzaklaşmayı göstermektedir. Sıfırdan başlar ve en nihayetinde galaksiler birbirlerinden sabit bir hızla uzaklaşır. Sonuncu olarak üçüncü bir çözüm daha vardır ve bunda evren sadece tekrar çökmekten kurtulacağı bir hızda genişlemektedir. Şekil 3.4'de gösterilen bu uzaklaşma da sıfırdan başlar ve sonsuza kadar artar. Ancak galaksilerin birbirlerinden uzaklaşma hızı, asla sıfıra ulaşmasa da giderek küçülür.

Birinci türdeki Friedmann modelinin dikkat çekici özelliği, bu modelde evrenin uzayda sonsuz olmaması, ama uzayın da herhangi bir sınırı olmamasıdır. Kütleçekim öylesine etkilidir ki, uzay kendi üzerine doğru bükülür ve dünyanın yüzeyine benzer bir hal alır. Dünya yüzeyinde belirli bir yöne doğru yolculuk etmeye devam edersek, geçilemeyecek türden bir engele takılmaz veya kenardan aşağıya düşmeyiz, önünde sonunda başladığımız yere geri döneriz. İlk Friedmann modelinde uzay tıpkı bunun gibidir, sadece dünya yüzeyinden farklı olarak iki boyutlu değil, üç boyutludur. Dördüncü boyut olan zaman yine uzam açısından sonludur, ama iki sonu veya sınırı, bir başlangıcı ve bir sonu olan bir çizgi gibidir. Daha sonra göreceğimiz gibi eğer genel görelilik kuantum mekaniğinin belirsizlik ilkesiyle birleştirilebilirse hem uzayın hem de zamanın herhangi bir kenar veya sınır olmaksızın sonlu olması mümkün olabilir.

Evrenin çevresinde bir tur atıp başlanılan yere dönülmesi fikri iyi bir bilim-kurgu malzemesi olabilir, ancak fazla bir pratik değere sahip değildir, çünkü tur henüz tamamlanmadan evrenin tekrar sıfır boyutuna çökeceği gösterilebilir. Evren sonlanmadan önce başladığınız yere dönebilmek için ışık hızından daha hızlı seyahat etmeniz gerekir ve buna izin yoktur!

Friedmann'ın genişleyen ve yeniden çöken ilk modelinde uzay, dünyanın yüzeyi gibi kendi üzerine doğru bü-

külür. Uzam yönüyle sonlu olması bu yüzdendir. Sonsuza dek genişleyen ikinci tür modelde uzay diğer yönde bükülür, bunu da bir eyerin yüzeyine benzetebiliriz. Dolayısıyla bu durumda uzay sonsuzdur. Son olarak genişlemenin kritik hızda olduğu üçüncü çeşit Friedmann modelindeyse uzay düzdür (ve bu yüzden de sonsuzdur).

Peki, hangi Friedmann modeli evrenimizi betimlemektedir? Evrenin genişlemesi en sonunda duracak ve evren büzüşmeye mi başlayacak yoksa sonsuza dek genişleyecek mi? Bu soruyu yanıtlamak için evrenin bugünkü genişleme hızını ve bugünkü ortalama yoğunluğunu bilmemiz lazım. Yoğunluk genişlemenin hızı tarafından belirlenen, belirli bir kritik değerden azsa, kütleçekim etkisi genişlemeyi durdurmaya yetmeyecek ölçüde zayıf olacaktır. Yoğunluk kritik değerden fazlaysa, bu durumda kütleçekim gelecekte bir zamanda genişlemeyi durduracak ve evrenin yeniden çökmesine neden olacaktır.

Bugünkü genişleme hızını Doppler etkisini kullanarak diğer galaksilerin bizden uzaklaştıkları hızları ölçme yoluyla tespit edebiliriz. Bu gayet kesin sonuçlar elde edilecek şekilde yapılabilir. Ancak sadece dolaylı yoldan ölçebildiğimiz için bu galaksilerin uzaklığı çok iyi bilinmemektedir. Dolayısıyla tüm bildiğimiz her bir milyar yılda evrenin yüzde 5 ile 10 arasında genişlemekte olduğudur. Öte yandan evrenin bugünkü ortalama yoğunluğu konusundaki bilgilerimiz daha da yetersiz durumdadır. Galaksimizde ve diğer galaksilerde görebildiğimiz bütün yıldızların kütlelerini topladığımızda, elimizdeki sonuç genişleme hızını en düşük tahmin ettiğimiz koşullarda bile evrenin genişlemesini durdurmak için gereken miktarın yüzde birinden azdır. Ancak galaksimiz ve diğer galaksiler bizim doğrudan göremediğimiz, ama galaksilerdeki yıldızların yörüngelerindeki kütleçekim üzerinde yarattığı etki nedeniyle orada olması gerektiğini bil-

diğimiz, çok büyük miktarda bir “kara madde” içermek zorundalar. Dahası galaksilerin çoğunun yıldız kümeleri içerisinde olduğunu biliyoruz ve yine bu yıldız kümele-ri içerisindeki galaksilerin arasında da daha fazla kara maddenin var olduğu sonucuna galaksilerin hareketi üzerindeki etkisinden yola çıkarak ulaşıyoruz. Toplamımıza tüm bu kara maddeyi eklediğimizde bile genişlemeyi durdurmak için gereken miktarın yaklaşık olarak sadece onda birine ulaşabiliyoruz. Ancak tüm evrene hemen hemen düzgün biçimde yayılmış, bizim henüz tespit edemediğimiz ve evrenin ortalama yoğunluğunu genişlemeyi durdurmak için gereken değere kadar yükseltebilecek farklı biçimde bir maddenin var olabileceği olasılığını da dışlayamayız. Elimizdeki kanıtlarla bugün bu yüzden evrenin sonsuza dek genişleyeceğini tahmin ediyoruz, ama kesin emin olabildiğimiz tek şey evren tekrar çökecek olsa bile bunun en azından bir on milyar yıl daha olmayacağı, çünkü evren şimdiye dek en az bu kadar bir süre boyunca genişlemiş durumdadır. Bunun da bizi gereğinden fazla endişelendirmesine gerek yok: O zamana dek, tabii eğer güneş sisteminin dışında koloniler kurmamışsak, insan neslinin tükenmesinin ve güneşle birlikte yok olmasının üzerinden epey bir zaman geçmiş olacak!

Friedmann çözümlerinin hepsinin ortak özelliği, geçmişte bir zamanda (on ile yirmi milyar yıl kadar önce) komşu galaksiler arasındaki uzaklığın sıfır olması gerekliliğidir. Büyük Patlama dediğimiz o anda evrenin yoğunluğu ve uzayzamanın bükülmesi sonsuz olsa gerek. Matematikçiler sonsuz rakamlarla baş etmekte zorlandıkları için bu (Friedmann’ın çözümlerinin dayandığı) genel görelilik kuramının, evrende kuramın kendisinin çöktüğü bir noktanın var olduğu öngörüsünde bulunduğu anlamına gelir. Böylesi bir nokta matematikçilerin tekillik dediği duruma bir örnektir. Aslında bilim kuramlarımızın tümü

uzayzamanın pürüzsüz ve neredeyse düz olduğu varsayımıyla formüle edilmiştir, dolayısıyla uzayzamanın bükülmesinin sonsuz olduğu Büyük Patlama tekiliğinde hepsi çöker. Bu Büyük Patlamadan önce kimi olaylar var olsa bile bu olayların sonrasında olacakları belirlemek için kullanılamayacağı, çünkü Büyük Patlamada öngörülebilirliğin de çökeceği anlamına gelir.

Buna bağlı olarak eğer biz şu anki durum gibi, sadece Büyük Patlamadan bu yana olanları biliyorsak ondan öncesinde olanları tespit edemeyiz. Bildiğimiz kadarıyla Büyük Patlamadan önceki olayların sonuçları olamaz, dolayısıyla bunların evrenin bilimsel bir modelinde yer almaması gerekir. Bu yüzden onları modelden çıkartmalı ve zamanın Büyük Patlamada bir başlangıca sahip olduğunu söylemeliyiz.

Birçok insan zamanın bir başlangıcı olduğu fikrinden muhtemelen kutsal müdahaleyi çağrıştırdığı için pek hoşlanmaz. (Öte yandan Katolik Kilisesi Büyük Patlama modelini benimsemiş ve 1951 yılında resmi olarak modelin İncil'le uyumlu olduğunu ilan etmiştir.) Bu yüzden bir Büyük Patlama olduğu sonucundan kaçınma amaçlı bir dizi girişim olmuştur. Bunlar arasında en geniş destek toplayan öneri durağan evren kuramıdır. Kuram, Nazi işgalindeki Avusturya'dan iltica etmiş Hermann Bondi ve Thomas Gold ile savaş sırasında bir radarın geliştirilmesinde onlarla birlikte çalışan bir İngiliz olan Fred Hoyle tarafından 1948 yılında ortaya atılmıştır. Fikir, galaksiler birbirlerinden uzaklaşırken kesintisiz biçimde oluşan yeni maddelerden yeni galaksilerin sürekli olarak aradaki boşluklarda oluşmasına dayanmaktadır. Evren bu yüzden her zamanda ve uzayın her noktasında kabaca aynı gözükmektedir. Durağan evren kuramı maddenin sürekli oluşmasına izin verilmesi için genel görelilikte bir değişikliği gerektiriyordu, ancak söz konusu olan hız o kadar

yavaştı ki (yılda yaklaşık olarak bir kilometre küp başına bir parçacık) deneyle de çelişmiyordu. Kuram 1. Bölümde tarif ettiğimiz yönden iyi bir bilimsel kuramdı: Basitti ve gözlem yoluyla sınanabilecek kesin öngörülere sahipti. Bu öngörülerden biri, verili bir uzay hacminde galaksilerin veya benzer nesnelere sayısının evrende nereye ve ne zaman bakarsak bakalım aynı olması gerektiği idi. 1950'lerin sonunda ve 1960'ların başında Cambridge'te Martin Ryle yönetimindeki (savaş esnasında o da Bondi, Gold ve Hoyle'la birlikte radar üzerinde çalışmıştı) bir grup gökbilimci tarafından atmosferin dışından gelen radyo dalgalarının kaynakları konusunda bir araştırma gerçekleştirildi. Cambridge grubu bu radyo kaynaklarının çoğunun galaksimizin dışında yer alması gerektiğini (gerçekten de çoğunun başka galaksilerden geldiği tespit edilebilir) ve ayrıca güçlü olanlardan çok daha fazla sayıda zayıf kaynak olduğunu gösterdi. Zayıf kaynakların daha uzak olanlar, kuvvetlilerin de daha yakındakiler olduğu değerlendirildi. Ardından yakın kaynakların uzayın birim hacmi açısından yaygınlığının uzak kaynaklara göre daha az olduğu ortaya çıktı. Bu bizim evrende kaynakların başka yerlere göre daha az olduğu devasa bir bölgenin merkezinde olduğumuz anlamına gelebilirdi. Bir başka yoruma göre de kaynakların geçmişte, radyo dalgalarının bize doğru yolculuğuna başladığı zamanda bugüne oranla bir hayli fazla olduğu anlamına gelebilirdi. Her iki açıklama da durağan evren kuramının öngörülerıyla çelişmekteydi. Dahası 1965 yılında Penzias ve Wilson'ın keşfettiği mikrodalga ışıması da evrenin geçmişte çok daha yoğun olması gerektiğine işaret ediyordu. Bu yüzden durağan evren kuramından vazgeçilmeliydi.

Büyük Patlamanın, dolayısıyla zamanın bir başlangıcı olmasının kabulünden kaçınma yönünde bir başka deneme 1963 yılında iki Rus bilim insanı, Evgenii Lifsh-

hitz ve Isaac Khalatnikov tarafından gerçekleştirildi. Büyük Patlamanın sadece nihayetinde gerçek evrene birer yaklaştırım özelliği taşıyan Friedmann'ın modellerine özgü bir tuhaflık olabileceği fikrini ileri sürdüler. Belki de gerçek evrene yakınsayan modeller içerisinde sadece Friedmann'ın bir Büyük Patlama tekilliği içeriyor olabilir. Friedmann'ın modellerinde galaksiler birbirlerinden doğrudan uzaklaşıyorlardı, dolayısıyla geçmiş bir zamanda hepsinin aynı yerde olması şaşırtıcı değildi. Ancak gerçek evrende galaksiler sadece birbirlerinden doğrudan uzaklaşmakla kalmaz, yan tarafa doğru da küçük hızlara sahiptirler. Dolayısıyla gerçekte hepsinin aynı yerde olmuş olması gerekmez, sadece birbirlerine çok yakın olmuş olmaları yeterlidir. Belki de şu anki genişleyen evren bir Büyük Patlama tekilliğinin sonucu değil, daha önceki bir büzüşme evresinin sonucudur; evren çöktüğünde içerisindeki parçacıkların hepsi birbiriyle çarpışmamış, bazıları uçup geçmiş ve ardından birbirlerinden uzaklaşarak evrenin bugünkü genişlemesini sağlamışlardır. Bu durumda ne diye gerçek evrenin bir Büyük Patlamayla başlamış olması gerektiğini söyleyelim? Lifshitz ve Khalatnikov'un yaptığı Friedmann'ın modellerine benzeyen modellerle çalışıp gerçek evrendeki galaksilerin aykırılıklarını ve düzensiz hızlarını hesaba katmaktır. Bu tip modellerin galaksiler artık her zaman doğrudan birbirlerinden uzaklaşmıyor olsalar da bir Büyük Patlamayla başlayabileceğini göstermiş, ancak bunun halen ancak galaksilerin hepsinin doğru şekilde hareket ettiği belirli kuraldışı modellerde mümkün olduğunu iddia etmişlerdir. Bir Büyük Patlama içeren modeli kabul etmek yerine, Büyük Patlama tekilliği içermeyen sonsuz sayıda Friedmannvari modelin olabileceği görüldüğüne göre, gerçekte bir Büyük Patlama olmadığı sonucuna ulaşmamız gerektiğini öne sürdüler. Ancak daha sonra tekillikler içeren

çok daha genel bir Friedmanncı modeller sınıfının var olduğunu ve bunlarda galaksilerin herhangi özel bir biçimde hareket etmesi gerekmediğini fark ettiler. Bu yüzden 1970 yılında savlarını geri çektiler.

Lifshitz ve Khalatnikov'un çalışması değerliydi, çünkü genel görelilik kuramı doğruysa evrenin bir tekillığe, bir Büyük Patlamaya sahip *olabileceğini* göstermişti. Ancak bize esas önemli sorunun çözümünü sunmuyordu: Acaba genel görelilik evrenimizin bir Büyük Patlamaya, zamanın bir başlangıcına sahip olması *gerektiğini* öngörüyor mu? Bunun yanıtına 1965 yılında İngiliz matematikçi ve fizikçi Roger Penrose'un ortaya attığı tamamen farklı bir yaklaşımla ulaştık. Işık konilerinin genel görelilikteki hareket etme biçimini kütleçekimin her zaman çekici olduğu olgusuyla birlikte kullanarak Penrose, kendi kütleçekimi altında çöken bir yıldızın, yüzeyi neticede sıfır boyutuna dek küçülen bir bölge içerisine sıkıştığını gösterdi. Bölgenin yüzeyi sıfıra dek küçüldüğü için, hacminde de aynısı olmalıydı. Yıldızın içindeki maddenin hepsi sıfır hacimdeki bir bölge içerisine sıkıştırılacaktı, dolayısıyla maddenin yoğunluğu ve uzayzamanın bükülmesi sonsuz olacaktı. Başka bir deyişle bu kara delik olarak bilinen, uzayzamanın bir bölgesine içerilmiş bir tekillikti.

İlk bakışta Penrose'un ulaştığı sonuç sadece yıldızlarla ilgili gözüküyor, tüm evrenin geçmişinde bir Büyük Patlama tekillğine sahip olup olmadığı konusunda bir şey söylemiyordu. Penrose'un teoremini oluşturduğu dönemde ben de doktora tezini tamamlamak için çaresizce konu arayışında olan bir araştırma görevlisiydim. Bundan iki yıl öncesinde de bana Lou Gehring hastalığı veya motor nöron hastalığı olarak da bilinen ALS teşhisi konmuş ve sadece bir veya iki yıl yaşayabileceğim söylenmişti. Bu koşullar altında doktora derecesi peşinde koşmak da fazla anlamlı gelmiyordu, açıkçası o kadar uzun

yaşayabileceğimi düşünmüyordum. Yine de aradan iki yıl geçmiş ve o kadar fazla kötüleşmemiştim. Aslına bakarsanız birçok konuda işler daha da iyi gitmeye başlamış ve oldukça hoş bir kızla, Jane Wilde'la nişanlanmıştım. Ancak evlenebilmek için bir işe ve bir iş bulabilmek için de doktora derecesine ihtiyacım vardı.

1965 yılında Penrose'un kütleçekim nedeniyle çöken cisimlerin nihayetinde bir tekilik oluşturmak zorunda olduğu hakkındaki teoremini okudum. Aradan fazla zaman geçmeden de şunu fark ettim: Penrose'un teoreminde zamanın yönü tersine çevrilir ve böylece çöküşün yerini bir patlama alırsa teoremin koşulları yine sağlanır; burada koşul evrenin şimdiki zamanda büyük ölçeklerde kabaca Friedmann modeline benzer biçimde olmasıdır. Penrose'un teoremi çöken tüm yıldızların bir tekilikle sonlanmak *zorunda* olduğunu göstermişti; zamanın tersine çevrildiği argüman da Friedmannvari genişleyen evrenlerin tümünün bir tekilikle başlamak *zorunda* olduğunu gösterdi. Penrose'un teoremi teknik nedenlerle evrenin uzayda sonsuz olmasını gerektiriyordu. Aslında böylece ben de bunu, evrenin sadece tekrar çökmekten kaçınmaya yetecek bir hızla genişlediği koşullarda (çünkü sadece bu Friedmann modelleri uzayda sonsuzdu) bir tekilik olması gerektiğini kanıtlamak için kullanabildim.

Bundan sonraki birkaç yılda tekiliklerin zorunlu olduğunu kanıtlayan teoremlerden bu koşulu ve diğer teknik koşulları kaldırmayı sağlayacak olan yeni matematik tekniklerini geliştirdim. Nihai sonuç 1970 yılında Penrose ve benim ortak yayımladığımız bir makale oldu. Bu makale sonunda bir Büyük Patlama tekiliğinin olmak zorunda olduğunu kanıtlıyor, bunun tek koşulunun genel göreliliğin doğruluğu ve evrenin gözlediğimiz kadar madde içeriyor olması olduğunu belirtiyordu. Çalışmamıza birçok itiraz geldi; bunların bir kısmı bilimsel belirle-

nimciliğe [determinizm] duydukları Marksist inanç nedeniyle Ruslardan, bir kısmı da tekillikler fikrinin kendisini itici bulan ve Einstein'ın kuramının güzelliğini bozduğunu düşünen insanlardan kaynaklanıyordu. Oysa aslında bir matematiksel teoremle tartışma yürütülemez. En nihayetinde çalışmamız genel kabul gördü ve günümüzde neredeyse herkes evrenin bir Büyük Patlama tekilliğiyle başladığını varsayar hale geldi. Bu yüzden bugün fikrini değiştirmiş olan benim, aslında evrenin başlangıcında tekillik olmadığına diğer fizikçileri ikna etmeye çalışıyor olmam oldukça ironik sayılmalı. Daha sonra ele alacağımız üzere kuantum etkileri hesaba katıldığında bu tekillik ortadan kalkabiliyor.

Bu bölümde insanoğlunun bin yılı aşkın bir sürede oluşturduğu evren hakkındaki görüşünün yarım yüzyıldan kısa bir sürede nasıl değiştiğini görmüş olduk. Hubble'ın evrenin genişlemesini keşfetmesi ve evrenin devasa büyüklüğünde gezegenimizin tuttuğu yerin küçüklüğünün farkına varmamız başlangıç noktası oldu. Deneysel ve kuramsal kanıtlar biriktikçe evrenin zamanda bir başlangıcı olması gerektiği fikri giderek berraklaştı ve sonunda Penrose ve ben 1970 yılında Einstein'ın genel görelilik kuramına dayanarak bunu kanıtladık. Bu kanıt genel göreliliğin aslında tamamlanmamış bir kuram olduğunu gösterdi: Genel görelilik kendisi dahil olmak üzere, tüm fiziksel kuramların evrenin başlangıcında geçersizleşeceğini öngördüğü için bize evrenin nasıl başladığını söyleyemez. Genel görelilik sadece kısmi bir kuram olarak geçerlidir, dolayısıyla tekillik teoremlerinin bizlere aslında gösterdiği, çok erken evrende (artık yirminci yüzyılın diğer büyük kısmi kuramı olan) kuantum mekaniğinin küçük ölçekli etkilerinin göz ardı edilemeyeceği bir zamanın yaşanmış olması zorunluluğudur. Böylece 1970'lerin başlarından itibaren bizler evrenin anla-

şılması arayışında yönümüzü olağanüstü büyük şeylerin kuramından olağanüstü küçük şeylerin kuramına çevirmek zorunda kaldık. Şimdi bu kuramı, kuantum mekaniğini ele alacağız. Ardından bu iki kısmi kuramı tek bir kuantum kütleçekim kuramında birleştirme çabalarına değineceğiz.

4

Belirsizlik İlkesi

Bilimsel kuramların, özellikle de Newton'un kütleçekim kuramının başarısı on dokuzuncu yüzyılın başında Fransız bilimci Marquis de Laplace'ı evrenin tamamıyla belirlenimci olup olmadığını tartışmaya sevk etti. Laplace belli bir zamanda evrenin durumunu tam olarak bilmemiz koşuluyla evrende olabilecek her şeyi tahmin edebilmemizi sağlayacak bir dizi bilimsel yasanın var olması gerektiğini ileri sürdü. Örneğin belli bir zamanda hem güneşin hem de gezegenlerin konum ve hızlarını biliyorsak, bu durumda güneş sisteminin başka bir zamandaki durumunu hesaplamak için Newton'un yasalarını kullanabiliriz. Belirlenimcilik bizlere bu örnekte makul görünebilir, ancak Laplace insan davranışları dahil her şeye hükmeden benzer yasaların var olması gerektiğini söyleyecek ölçüde ileri gitmiştir.

Bilimsel belirlenimcilik doktrini, Tanrı'nın dünyaya müdahale etme özgürlüğünü ihlal ettiği için bu yaklaşıma katı muhalefet sergileyen çok sayıda kişinin varlığına karşın, 20. yüzyılın başlarına dek bilimin standart varsa-