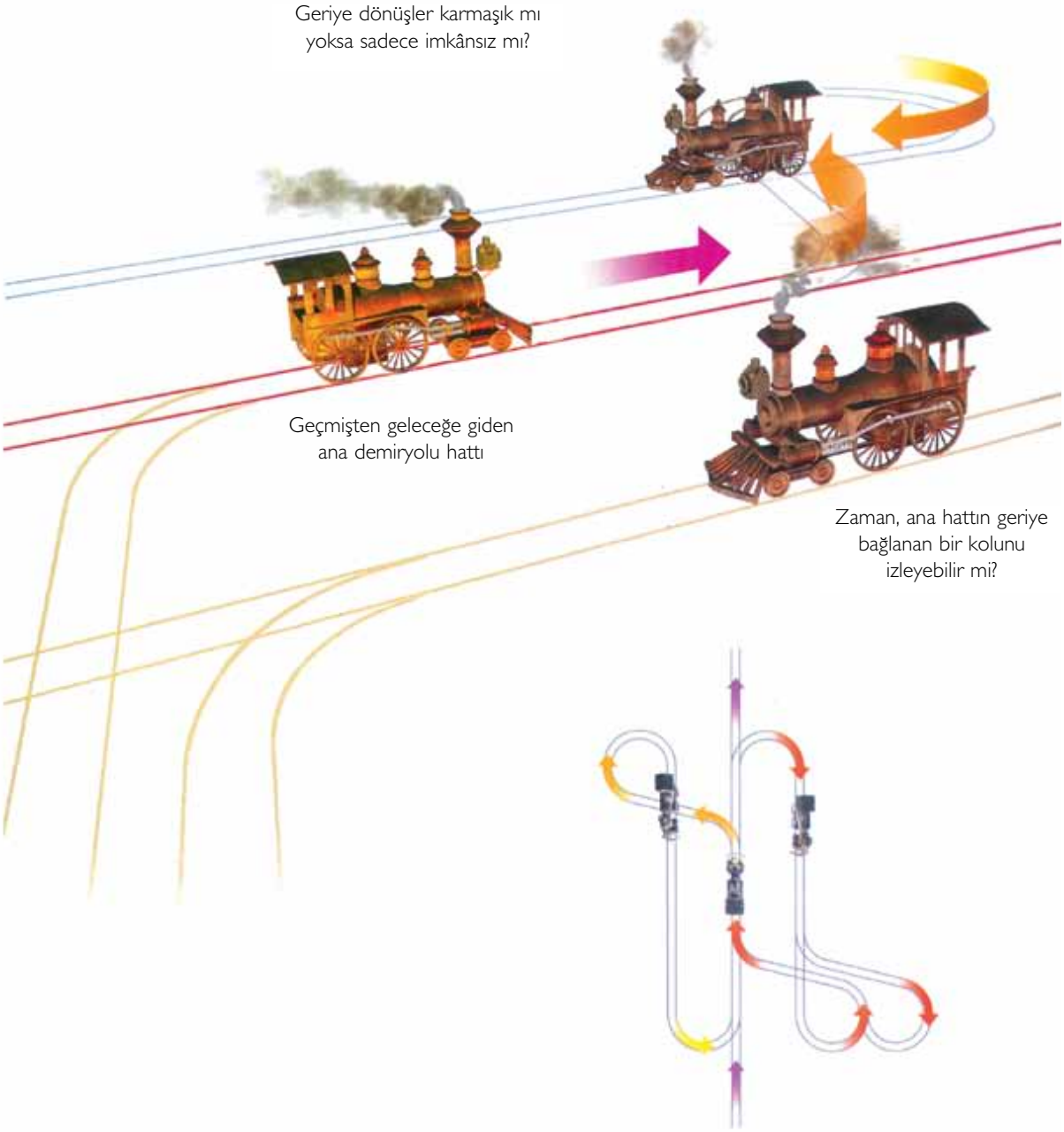
BÖLÜM 2

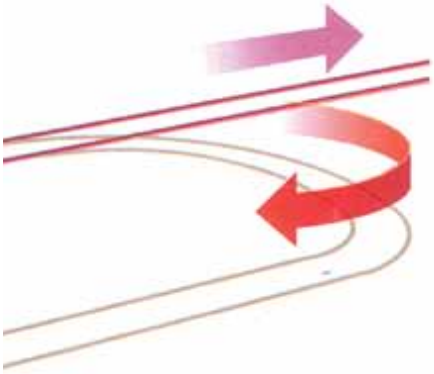
ZAMANIN ŞEKLİ

Einstein'ın genel göreliliği zamana bir şekil verir.
Genel görelilik kuramının kuantum kuramıyla bağdaştırılması



(ŞEKİL 2.1) ZAMANIN BİR DEMİRYOLU ŞEKLİNDEKİ MODELİ

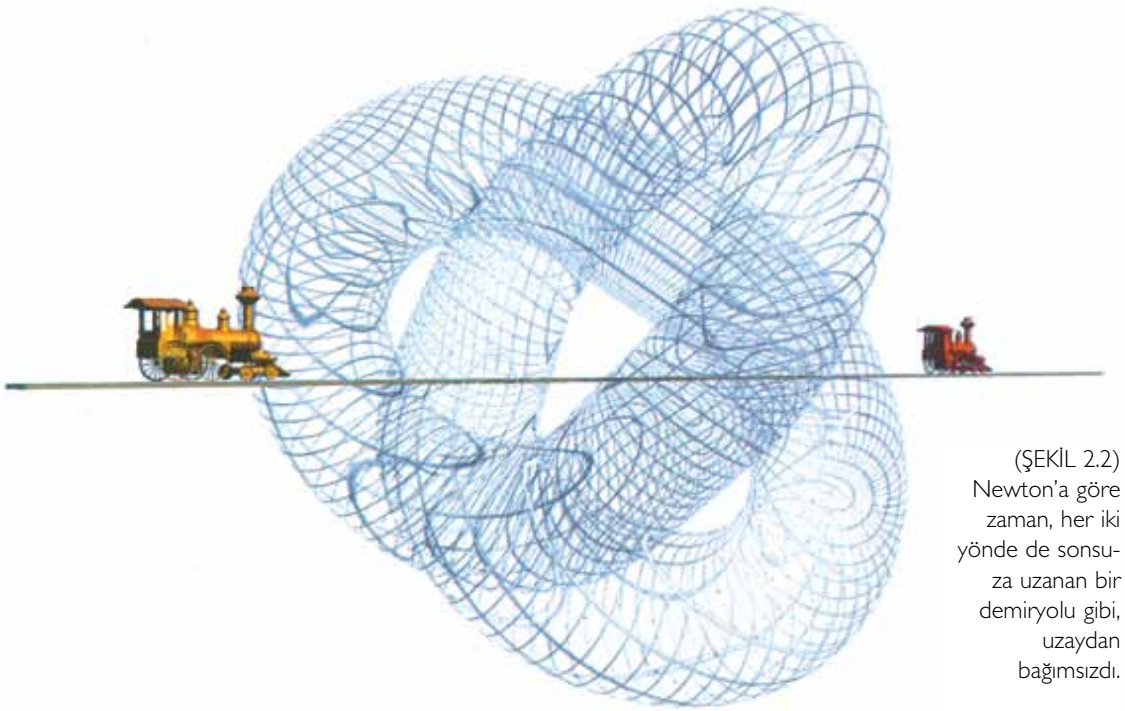
Zaman sadece bir yönde –geleceğe doğru– işleyen ana bir hat mı? Yoksa daha önceki bir kavşakta ana hatla yeniden birleşmek üzere geri bağlanabilir mi?



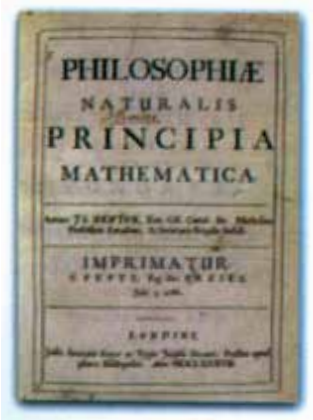
Zaman nedir? Eski bir ilahideki gibi, sürekli akan bir dere midir, bütün rüyalarımızı taşıyan? Yoksa bir demiryolu mu? Belki de başa döndüğü yerler ve kolları vardır, böylece ileri gitmeye devam ettiğiniz halde hat üzerinde, önceki bir istasyona geri dönersiniz (Şekil 2.1).

On dokuzuncu yüzyıl yazarı Charles Lamb şöyle demiştir: "Hiçbir şey zaman ve uzay kadar aklımı kurcalamaz. Aynı zamanda hiçbir şey beni zaman ve uzaydan daha az endişelendirmez, çünkü onları hiçbir zaman düşünmem." Çoğumuz, çoğu zaman –bu, her ne ise– zaman ve uzay hakkında endişelenmeyiz, ancak hepimiz bazen zamanın ne olduğunu, nasıl başladığını ve bizi nereye götürdüğünü merak ederiz.

İster zamanla ister başka bir kavramla ilgili olsun, sağlam, bağımsız, herhangi bir kuram, kanaatimce üzerinde en fazla çalışılabilecek bilim felsefesine dayandırılmalıdır: Karl Popper ve diğerleri tarafından ileri sürülen pozitivist yaklaşıma. Bu düşünce şekline göre, bilimsel bir kuram, yaptığımız gözlemleri tanımlayan ve düzenleyen, matematiksel bir modeldir. İyi bir kuram, geniş bir olgu yelpazesini basit birkaç kabulü esas alarak tanımlayacak ve test edilebilen kesin tahminlerde bulunacaktır. Eğer tahminler gözlemlerle uyum gösterirse, doğruluğu kanıtlanamasa bile kuram bu testi geçer. Buna karşın, gözlemler tahminlerle uyum göstermezse, kuram bir kenara atılmalı veya değiştirilmelidir. (Bu, en azından olması gereken şeydir. İnsanlar uygulamada gözlemlerin kesinliğini ve gözlemleri yapan kişilerin güvenilirliği ve ahlaki karakterini çoğunlukla sorgular.) Eğer bir kişi, benim de yaptığım gibi, pozitivist bir tavır alırsa, zamanın gerçekte ne olduğunu söyleyemez. Tek yapabileceği, zaman için bulunan, uygun, matematiksel modeli tanımlamak ve bu modelin yaptığı öngörüleri dile getirmektir.



(ŞEKİL 2.2) Newton'a göre zaman, her iki yönde de sonsuza uzanan bir demiryolu gibi, uzaydan bağımsızdı.



Isaac Newton, 300 yıl önce, zaman ve uzayla ilgili kendi matematiksel modelini yayımladı.

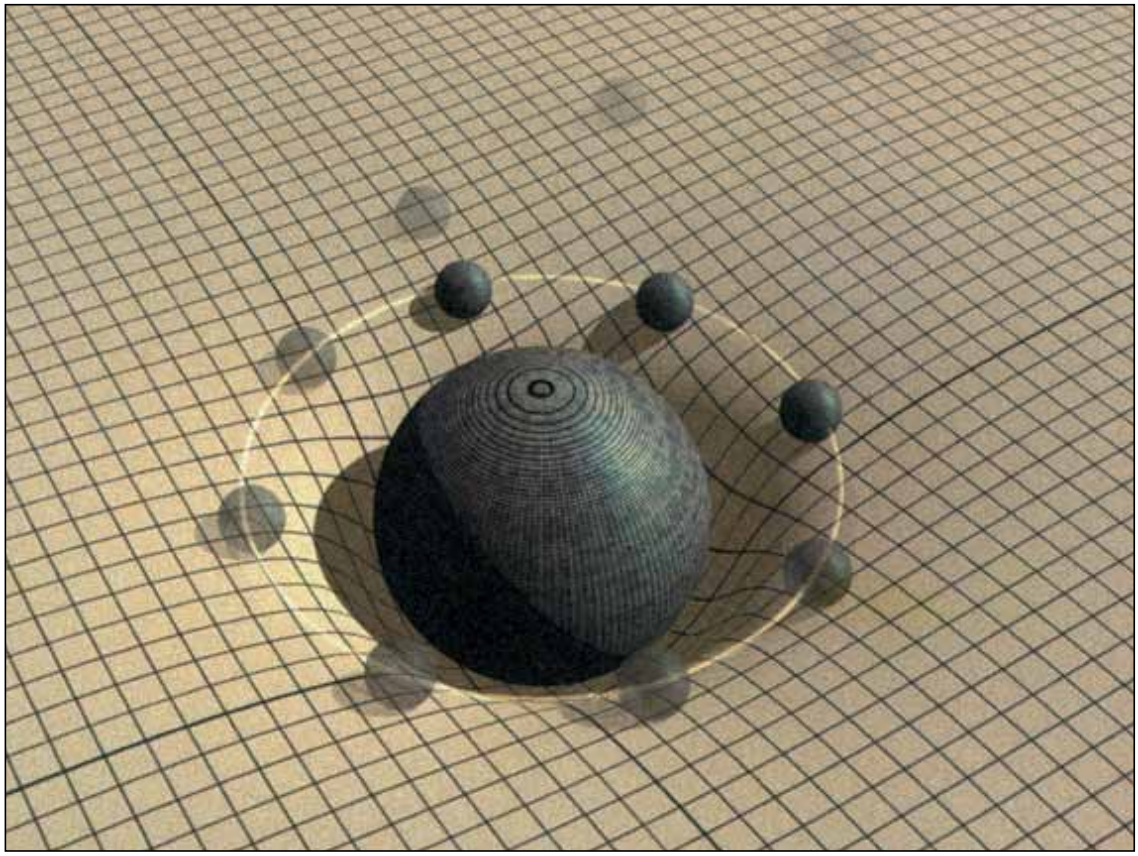
Isaac Newton 1687'de yayımlanan *Principia Mathematica* adlı kitabında, zaman ve uzay için matematiksel ilk modeli ortaya attı. Newton, Cambridge'deki şu an bulunduğum Lucas kürsüsündeydi, ancak bu sandalye onun zamanında elektrikle işlemiyordu.* Newton'un modelindeki zaman ve uzay, olayların gerçekleştiği ancak olaylar tarafından etkilenmeyen bir ardalandı. Zaman uzaydan ayrıydı ve her iki yönde de sonsuza giden tek bir doğru veya bir demiryolu gibi olduğu düşünülüyordu (Şekil 2.2). Zaman, hep var olduğu ve var olacağından yola çıkılarak, ebedi görülüyordu. Buna karşın, çoğu insan fiziksel evrenin sadece birkaç bin yıl önce, yaklaşık şu anki haliyle yaratıldığını düşünüyordu. Bu durum, Alman düşünür Immanuel Kant gibi filozofları meraklandırıyordu. Eğer evren gerçekten yaratılmışsa, yaratılıştan önce neden sonsuz bir bekleyiş vardı? Bununla birlikte, evren her zaman var olduysa, gerçekleşecek her şey neden önceden gerçekleşmemiş, yani tarih bitmemişti? Özellikle de, her şey aynı sıcaklıkta olacak şekilde, evren ısıl dengeye neden ulaşmamıştı?

* İngilizce "chair" kelimesi hem sandalye hem de kürsü anlamına geldiği için yazar burada kelime oyunu yapıyor –çn.

(ŞEKİL 2.3) ZAMANIN ŞEKLİ VE YÖNÜ

Einstein'ın çok sayıda deneyle uyum gösteren görelilik kuramı, zaman ve uzayın birbiriyle ayrılmaz biçimde bağlı olduğunu kanıtlar.

Uzay, zaman olmaksızın bükülemez. Bu nedenle zamanın bir şekli vardır. Bununla birlikte, şekildeki lokomotiflerde gösterildiği gibi, tek yönlüymüş gibi de gözükür.



(ŞEKİL 2.4)
KAUÇUK YAPRAK BENZETMESİ

Ortadaki büyük top, yıldız gibi, büyük bir cismi temsil eder.

Topun ağırlığı yakınındaki levhayı büker. Levha üzerinde yuvarlanan bilyeler bu eğim tarafından saptırılır ve tıpkı, bir yıldızın kütleçekim alanındaki gezegenlerin, onun yörüngesinde dolaşması gibi, büyük topun etrafında döner.

Kant bu problemi "arı usun çatışkısı" ("antimony of pure reason") olarak adlandırdı, çünkü mantıksal bir inkâr olarak görünüyordu; bir çözümü yoktu. Ancak bu sadece, zamanın sonsuz bir doğru ve evrende gerçekleşenlerden bağımsız olduğu Newton'un matematiksel modelinin kapsamı içerisindeki bir inkârdı. Bununla birlikte, Bölüm 1'de de gördüğümüz gibi, Einstein tarafından 1915'te tamamen yeni, matematiksel bir model ortaya atıldı: genel görelilik kuramı. Einstein'ın makalesinden beri geçen yıllar boyunca bu modele birkaç şey ekledik, ancak zaman ve uzayla ilgili modelimiz hâlâ Einstein'ın önerilerine dayanıyor. Bu bölümde ve ilerleyen bölümlerde Einstein'ın devrimci makalesinden beri geçen yıllarda düşüncelerimizin gelişimini anlatacağız. Bu, çok sayıda kişinin çalışmasına ait bir başarı hikâyesi, üstelik ben de küçük bir katkıda bulunmaktan gurur duyuyorum.

Genel görelilik, uzayzamanı meydana getirmek üzere zaman boyutunu uzayın üç boyutuyla birleştirir (*bkz.* sayfa 41, Şekil 2.3). Bu kuram, uzaydaki madde ve enerji dağılımının, uzayzamanı büktüğünü ve bozduğunu, bu yüzden de uzayzamanın düz olmadığını söyleyerek kütleçekim etkisini açıklar. Söz konusu uzayzaman içindeki nesneler düz doğrularda hareket etmeye çalışır, ancak uzayzaman eğri olduğu için izledikleri yollar bükülmüş olarak görünür. Bir kütleçekimi alanından etkileniyorlarmış gibi hareket ederler.

Düz anlamıyla algılanmaması gereken, yaklaşık bir benzetme olarak, bir kauçuk levhayı düşünün. Levha üzerine, Güneş'i temsil edecek, büyük bir top yerleştirelim. Topun ağırlığı yaprağa baskı uygulayacak ve levhanın Güneş etrafında bükülmesine neden olacaktır. Eğer o anda levha üzerinde küçük bilyeler yuvarlanırsa, bilyeler diğer tarafa doğru dümdüz yuvarlanmayacak, bunun yerine Güneş etrafındaki yörüngede dönen gezegenler gibi, ağır yükün etrafında dönecektir (Şekil 2.4).

Benzetme, Newton'un kuramında da olduğu gibi, uzayın sadece iki-boyutlu bir kısmının (kauçuk levhanın yüzeyinin) bükülmesi ve zamanın bozulmadan kalması nedeniyle tam değildir. Bununla birlikte, birçok deneyle uyum gösteren görelilik kuramındaki uzay ve zaman ayrılmaz bir bütündür. Uzay, zaman dahil edilmeden bükülemez. Bu nedenle zamanın bir şekli vardır. Genel görelilik, uzay ve zamanı bükerek, onları olayların gerçekleştiği pasif bir ardalandan, olayların etkin, dinamik katılımcılarına dönüştürür. Zamanın her şeyden bağımsız bir şekilde mevcut olduğu Newton kuramında şu soru sorulabilir: Tanrı evreni yaratmadan önce ne yapıyordu? Aziz Augustine'in de söylediği gibi, bu konu hakkında, "İşine fazla karışanlar için Cehennem'i hazırlıyordu," diyerek şaka yapılmamalıdır. Bu, insanların yüzyıllardır düşünüp durduğu, ciddi bir sorudur. Aziz Augustine'e göre, Tanrı her şeyi yaratmadan önce, hiçbir şey yapmadı. Bu, modern düşüncelere aslında çok yakındır.

Bununla birlikte, genel görelilikteki zaman ve uzay, evrenden veya birbirinden bağımsız olarak mevcut değildir. Bunlar, bir saatteki kuvars kristalinin titreşim sayısı veya bir cetvelin uzunluğu gibi, evren içerisindeki ölçülerle tanımlanır. Evren içerisinde, bu şekilde tanımlanan zamanın, minimum veya maksimum bir değerinin –başka bir deyişle, bir başlangıcının veya bir sonunun– bulunması akla oldukça yatkındır. Başlangıçtan önce veya sonun ardından neyin gerçekleştiğini sormak anlamsız olur, çünkü böyle zamanlar tanımsızdır.

Aziz Augustine, dünyanın başlangıcından önce zamanın var olmadığına inanan beşinci yüzyıl düşünürü.

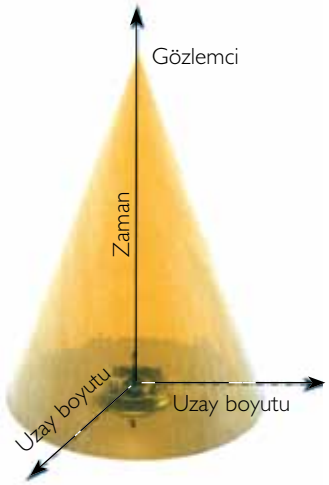
De Civitate Dei *adlı kitaptan bir sayfa, on ikinci yüzyıl. Biblioteca Lauronziana, Firenze.*

Genel göreliliğin matematiksel modelinin, evrenin ve zamanın kendisinin bir başlangıcı veya sonu olduğunu öngörüp öngörmediğine karar vermek açıkça önemliydi. Einstein da dahil olmak üzere kuramsal fizikçiler arasındaki genel önyargı zamanın her iki yönde de sonsuz olduğu şeklindeydi. Aksi takdirde, evrenin yaratılışı hakkında bilim alanının dışında görünen sorular beliriyordu. Einstein denklemlerinin, zamanın bir başlangıcının veya sonunun olduğu çözümleri biliniyordu, ancak büyük bir simetrileri vardı ve hepsi çok özeldi. Kendi kütleçekimi altında çöken gerçek bir cisimde basınç veya yanal hızların, yoğunluğun sonsuz olacağı noktada maddenin toplanmasına imkân vermeyeceği düşünülüyordu. Benzer biçimde, evrenin genişlemesi zamanda geriye doğru takip edilirse, evrendeki maddelerin hepsinin sonsuz yoğunluktaki bir noktadan ortaya çıkmadığı bulunacaktı. Sonsuz yoğunlukta böyle bir nokta tekillik [singularity] olarak adlandırılıyordu ve zamanın bir başlangıcı veya sonu olacaktı.

Evgenii Lifshitz ve Isaac Khalatnikov adlı Rus iki bilim insanı 1963'te madde ve hızların özel bir düzenlemesinin bulunduğu bir tekillikle Einstein denklemlerinin çözümlerini kanıtladıklarını iddia ettiler. Evreni temsil eden çözümün bu özel düzenlemeye sahip olma olasılığı uygulamada sıfırdı. Evreni temsil eden neredeyse bütün çözümler sonsuz yoğunlukta bir tekillik bulundurmaktan kaçınacaktı: Evrenin genişlediği çağdan önce, maddenin bir araya toplandığı, ancak çarpışmadığı ve şu anki genişleme safhasında birbirinden uzaklaştığı bir büzülme safhası olmalıydı. Eğer durum böyle ise, zaman sonsuz geçmişten sonsuz geleceğe doğru hep devam edecekti.

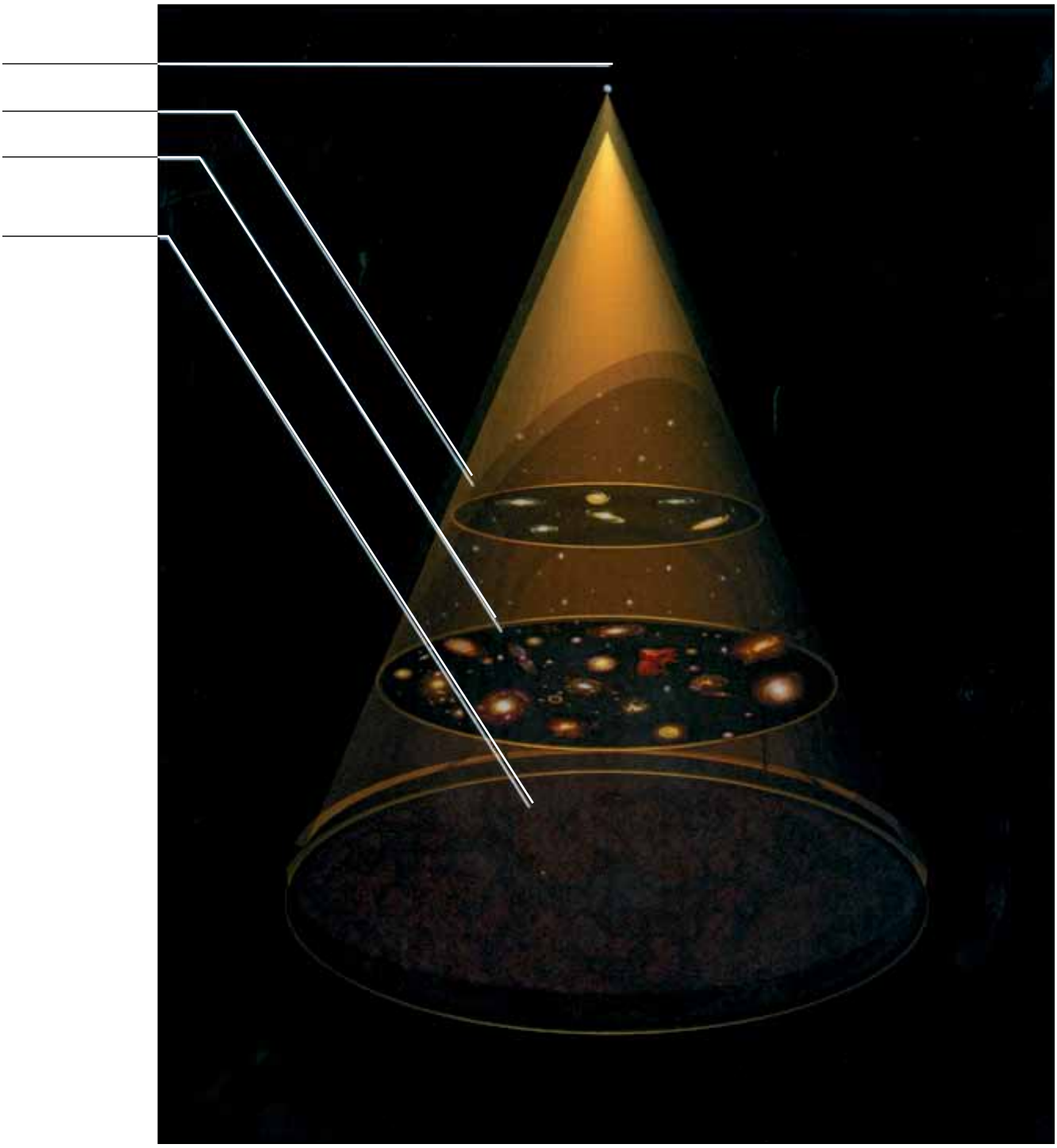
Herkes Lifshitz ve Khalatnikov'un düşünceleriyle ikna olmamıştı. Roger Penrose ve ben bunun yerine, sadece çözümler üzerine ayrıntılı bir çalışmaya değil, aynı zamanda uzayzamanın küresel yapısına da dayanan, farklı bir yaklaşım geliştirdik. Uzayzaman genel görelilikte sadece içindeki büyük kütleli nesneler tarafından değil, aynı zamanda içindeki enerji tarafından da bükülür. Enerji her zaman pozitiftir, bu yüzden uzayzamana, ışık ışınlarının yollarını birbirine doğru büken bir eğrilik verir.

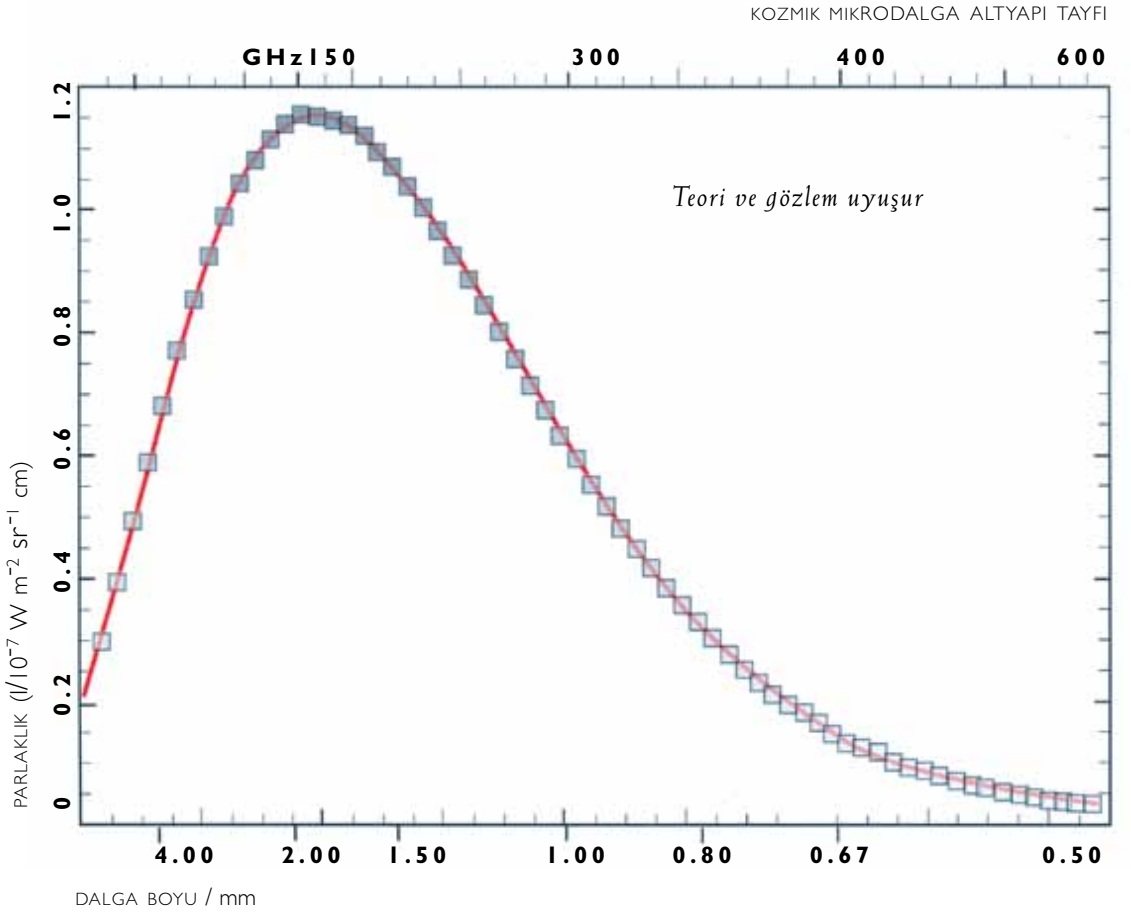
Şimdi, geçmiş ışık konimizi (Şekil 2.5), yani uzak galaksilerden gelen ışık ışınlarının şu anki zamanda bize ulaşan, uzayzamandan geçen yolları düşünün.



(ŞEKİL 2.5) GEÇMİŞ IŞIK KONİMİZ

Uzaktaki galaksilere baktığımızda, ışık sonlu bir hızda ilerlediği için, evrene daha önceki bir zamanda bakmış oluruz. Eğer zamanı düşey doğrultuyla ve üç uzay yönünü de yatay olarak gösterirsek, şu anda tepe noktasında bize ulaşan ışık, bize doğru bir koni üzerinde ilerlemiştir.

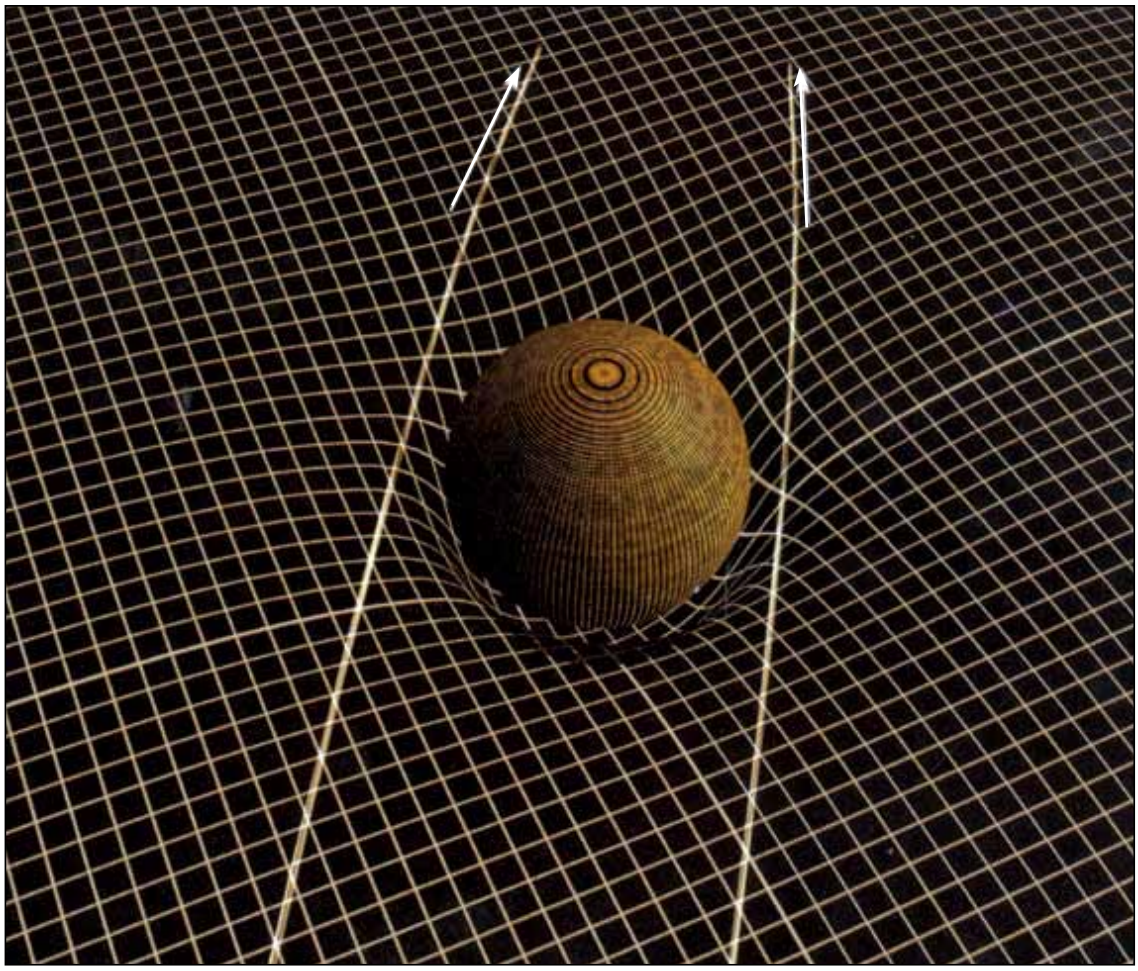




(ŞEKİL 2.6)
MİKRODALGA ARDALAN TAYFININ ÖLÇÜMÜ

Kozmik ardalan ışınımının tayfı –yoğunluğun frekansa göre dağılımı– sıcak bir cisimden kaynaklanan ışınımın karakteristiğidir. Işınımın ısıl dengede bulunması için, maddenin onu birçok defa yaymış olması gerekir. Bu durum, geçmiş ışık konimizin içeriye doğru eğilmesi için içerisinde yeterli madde bulunması gerektiğini belirtir.

Bu, zamanın yukarı ve uzayın ise yanlara doğru belirtildiği bir şemada tepe noktası bizim bulunduğumuz yerde olan bir konidir. Geçmişe, tepe noktasından koninin aşağısına doğru gittiğimizde, galaksileri çok daha önceki zamanlarda görürüz. Evren genişlediği ve her şey eskiden birbirine daha yakın olduğu için daha geriye baktığımızda maddenin daha yüksek yoğunlukta bulunduğu bölgelere bakmış oluruz. Evrenin şimdikinden çok daha yoğun ve sıcak olduğu, çok daha önceki bir zamandan, geçmiş ışık konimiz boyunca bize doğru yayılan, hafif bir mikrodalga ışınımını ardalanda gözlemleriz. Alıcıları farklı mikrodalga frekanslarına ayarlayarak, bu ışınımın tayfını (frekansa göre gücün dağılımını) ölçebiliriz. Mutlak sıfırın üzerinde 2,7 derece sıcaklıktaki bir cisimden yayılan ışınımın karakteristiği olan bir tayf

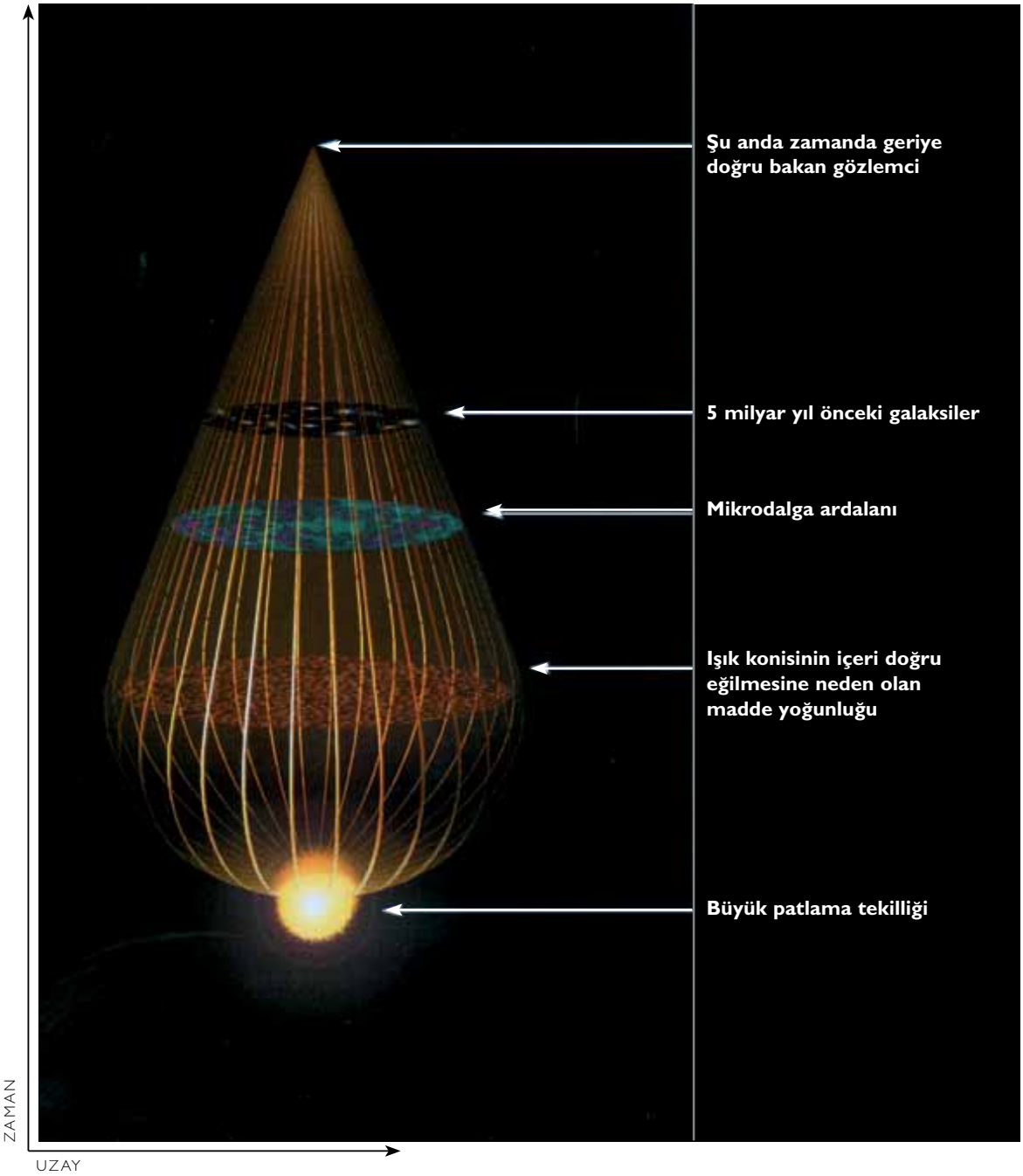


(ŞEKİL 2.7) UZAY-ZAMANIN BÜKÜLMESİ

Kütleçekim çekici bir kuvvet olduğu için madde, ışık ışınları birbirine doğru eğilecek şekilde uzayzamanı daima büker.

buluruz. Bu mikrodalga ışınımı, donmuş pizzanın buzlarını çözmek için yeterli değildir, ancak tayfın 2,7 derecedeki bir cismin yaydığı ışınımınkiyle bu kadar kesin şekilde uyuşması, ışınımın mikrodalga geçirmeyen bölgelerden gelmiş olması gerektiğini gösterir.

Böylece geriye doğru izlendiğinde, geçmiş ışık konimizin belli bir miktar maddeden geçmesi gerektiği sonucuna varabiliriz. Bu madde miktarı uzayzamanı bükmek için yeterlidir, bu şekilde geçmiş ışık konimizdeki ışık ışınları birbirine doğru eğilir (Şekil 2.7).


Şu anda zamanda geriye doğru bakan gözlemci
5 milyar yıl önceki galaksiler
Mikrodalga ardalanı
Işık konisinin içeri doğru eğilmesine neden olan madde yoğunluğu
Büyük patlama tekilliği
ZAMAN
UZAY

Zamanda geriye doğru gidildiğinde, geçmiş ışık konimizin kesitleri maksimum boyutlara ulaşır ve tekrar küçülmeye başlar. Geçmişimiz armut şeklindedir (Şekil 2.8).

Geçmiş ışık konimiz daha da geriye doğru takip edildiğinde, maddenin pozitif enerji yoğunluğu ışık ışınlarının birbirine daha güçlü şekilde eğilmesine neden olur. Işık konisinin kesiti sonlu bir zamanda sıfıra doğru küçülecektir. Bu, geçmiş ışık konimizdeki bütün maddelerin, sınırları sıfıra doğru küçülen bir bölgede sıkışacağı anlamına gelir. Penrose ve benim, genel göreliliğin matematiksel modelinde, zamanın Büyük Patlama adlı bir başlangıca sahip olduğunu ispatlamamız bu nedenle çok şaşırtıcı değildir. Benzer düşünceler, yıldızlar veya galaksilerin kara delikler meydana getirmek üzere kendi kütleçekimleri altında çöktüğünde, zamanın bir sonu olacağını gösteriyor. Kant'ın, zamanın evrenden bağımsız bir anlamının bulunduğu hakkındaki üstü kapalı varsayımını çıkararak, arı usun çatışkısından kaçındık. Zamanın bir başlangıcının bulunduğunu kanıtlayan makalemiz, 1968'de Gravity Research Foundation kuruluşunun sponsorluğunu üstlendiği yarışmada ikincilik ödülünü kazandı ve Roger ile ben $300'lık görkemli meblağı paylaştık. O yılki diğer ödüllerin pek katlanılabilir bir değere sahip olduğunu sanmıyorum.

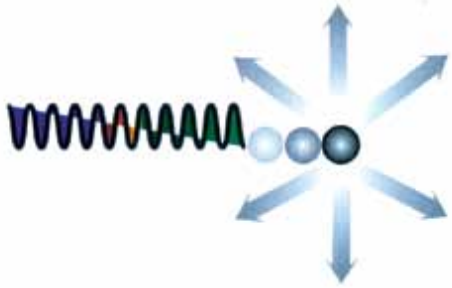
Çalışmamıza çeşitli tepkiler gösterildi. Bu birçok fizikçinin neşesini kaçırdı, ancak bilimsel bir kanıt ortaya çıktığı için yaradılışa inanan dini liderleri memnun etti. Lifshitz ve Khalatnikov bu sırada kötü bir konumdaydı. Kanıtladığımız matematiksel önermelere karşı çıkamadılar, ancak Sovyet sistemi altında yanıldıklarını ve Batı biliminin haklı olduğunu da itiraf edemediler. Bununla birlikte, önceki çözümleri gibi özel olmayan, bir tekillik içeren, daha genel bir çözüm ailesi bularak durumu kurtardılar. Bu ise, bir Sovyet keşfi olarak, tekilliklere ve zamanın başlangıç veya sonuna sahip çıkmalarına olanak tanıdı.

(ŞEKİL 2.8) ZAMAN ARMUT ŞEKLINDEDIR

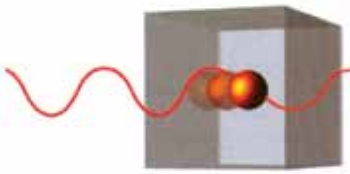
Eğer geçmiş ışık konimiz zamanda geriye doğru takip edilirse, evrenin erken zamanlarındaki madde tarafından içeri doğru eğilecektir. Gözlemlediğimiz evrenin tamamı, sınırı Büyük Patlamada sıfıra doğru küçülen bir bölgenin içindedir. Bu bir tekillik, yani maddenin yoğunluğunun sonsuz olduğu ve klasik genel göreliliğin çökeceği bir yer olacaktır.

BELİRSİZLİK İLKESİ

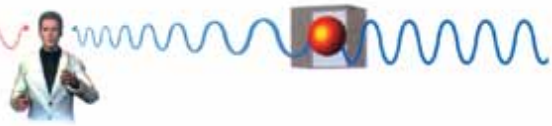
Düşük frekanslı dalga boyları parçacığın hızını daha az bozar.



Yüksek frekanslı dalga boyları parçacığın hızını daha fazla bozar.



Bir parçacığı gözlemlemek için kullanılan dalga boyu ne kadar uzun olursa, parçacığın konumunun belirsizliği de o kadar büyük olur.



Bir parçacığı gözlemlemek için kullanılan dalga boyu ne kadar kısa olursa, parçacığın konumunun belirliliği de o kadar büyük olur.

Kuantum kuramının keşfindeki önemli bir adım, Max Planck'ın 1900'deki, ışığın her zaman kuanta adını verdiği küçük paketler halinde geldiği hakkındaki önermesidir. Planck'ın kuantum hipotezi, sıcak cisimlerden kaynaklanan ışınım [radyasyon] çeşitlerinin gözlemlenmesini açıklıyordu, ancak çıkarımları, 1920'lerin ortalarında Alman fizikçi Werner Heisenberg ünlü belirsizlik ilkesini formülleştirinceye kadar, tam olarak anlaşılmadı. Heisenberg, Planck'ın hipotezinin, bir parçacığın konumu ne kadar kesin biçimde ölçülmeye çalışılırsa, vektörel hızının o kadar az kesinlikte ölçülebileceğini ve vektörel hızı ne kadar kesin biçimde ölçülmeye çalışılırsa, konumunun o kadar az kesinlikte ölçülebileceğini gösterdiğini belirtti.

Daha kesin olarak, bir parçacığın konumundaki belirsizliğin, momentumundaki belirsizlikle çarpımının, bir ışık kuantumundaki enerji içeriğiyle yakından ilişkili bir nicelik olan Planck sabitinden her zaman büyük olması gerektiğini gösterdi.

HEISENBERG'İN BELİRSİZLİK EŞİTLİĞİ

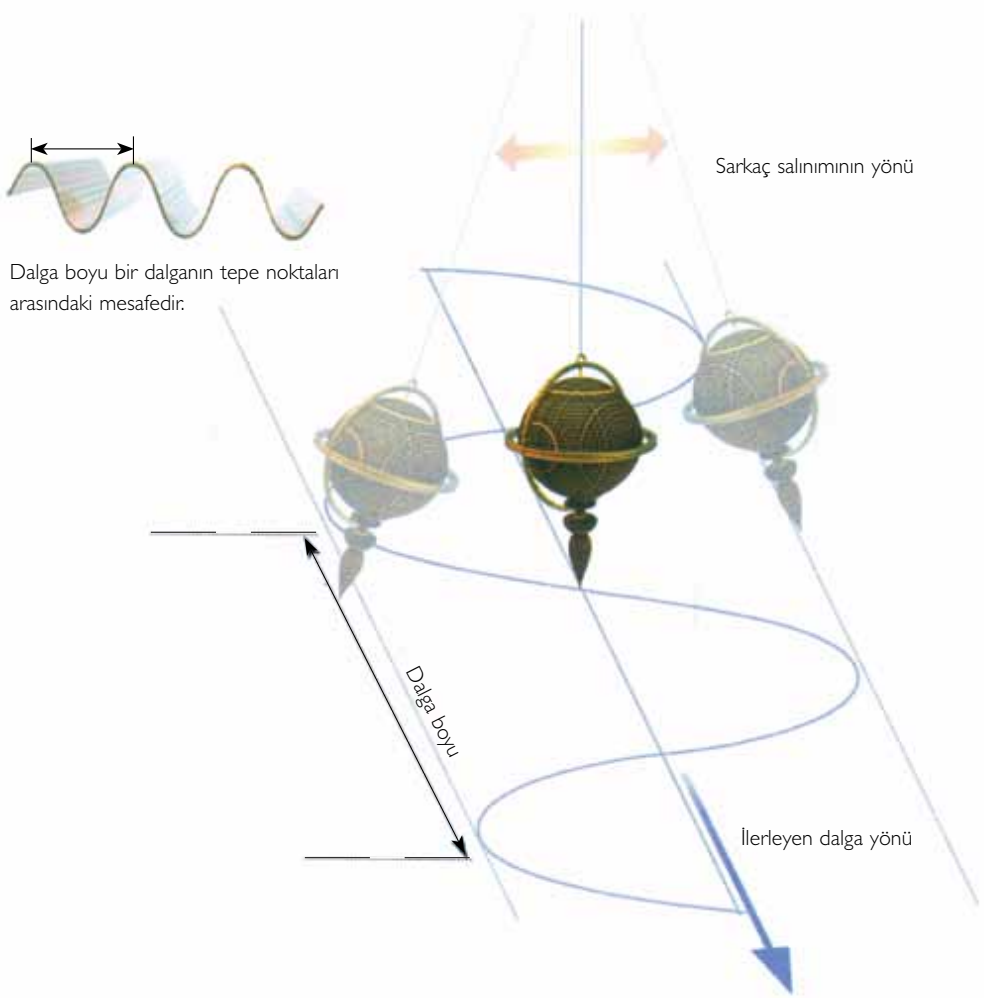
Çoğu fizikçi zamanın bir başlangıcı veya sonu bulunması fikrini içgüdüsel olarak hâlâ beğenmiyordu. Bu nedenle matematiksel modelin bir tekillik yakınındaki uzayzamanın iyi bir tanımı olmasının beklenemeyebileceğine işaret ettiler. Bunun sebebi ise, kütleçekim kuvvetini tanımlayan genel göreliliğin Bölüm 1'de de belirttiğimiz gibi, klasik bir kuram olması ve bildiğimiz diğer tüm kuvvetleri etkileyen kuantum kuramının belirsizliğini kapsamamasıydı. Bu tutarsızlık çoğu zaman evrenin çoğunda önemli değildir, çünkü uzayzamanın büküldüğü ölçek çok büyüktür ve kuantum etkilerinin önemli olduğu ölçek ise çok küçüktür. Ancak bir tekillik yakınında bu iki ölçek kıyaslanabilecek ve kuantum etkileri önemli olacaktır. Penrose ve benim tekillik önermelerimizin ortaya koyduğu şey, klasik uzayzamanımızın kuantum kütleçekiminin önemli olduğu bölgeler vasıtasıyla geçmişe ve muhtemelen de geleceğe bağlı olmasıdır. Evrenin başlangıcı ve kaderini anlamak için kütleçekimle ilgili bir kuantum kuramına ihtiyacımız vardır, üstelik bu, kitabın çoğunun konusu olacaktır.

Sonlu sayıda parçacığı olan, atom gibi sistemlerle ilgili kuantum kuramları, 1920'lerde Heisenberg, Schrödinger ve Dirac tarafından formülleştirildi. (Dirac Cambridge'deki kürsümün benden önceki sahibiydi, ancak bu sandalye motorlu değildi.) Bununla birlikte, kuantum fikirleri elektrik, manyetizma ve ışığı tanımlayan Maxwell alanına genişletildiğinde zorluklarla karşılaşıldı.

MAXWELL ALANI

İngiliz fizikçi James Clerk Maxwell 1865'te elektrik ve manyetizmanın bilinen bütün yasalarını birleştirdi. Maxwell'in kuramı eylemleri bir yerden diğerine ileten "alanlar"ın varlığına dayanır. Elektriksel ve manyetik karışıklıkları ileten alanların dinamik varlıklar olduğunu fark etti: Salınım yapabiliyor ve boşlukta hareket edebiliyorlardı.

Maxwell'in elektromanyetizma sentezi bu alanların dinamiklerini belirleyen iki denklemde toplanabilir. Kendisi de büyük ilk sonucu bu alanlardan çıkarmıştır: Her frekanstaki elektromanyetik dalgalar boşlukta aynı sabit hızda –ışık hızında– ilerler.



(ŞEKİL 2.9)
İLERLEYEN DALGA İLE SALINAN SARKACIN İLİŞKİSİ

Elektromanyetik ışınım, elektriksel ve manyetik alanları dalganın hareket yönüne dik yönlerde bir sarkaç gibi salınım yaparak, boşlukta bir dalga biçiminde ilerler. Bu ışınım farklı dalga boylarındaki alanlardan meydana gelebilir.

Maxwell alanının farklı dalga boylarından (bir dalga tepesi ile diğeri arasındaki mesafeden) meydana geldiği düşünülebilir. Alan, bir dalgada bir sarkaç gibi bir değerden diğerine salınır (Şekil 2.9).

Kuantum kuramına göre, bir sarkacın taban durumu veya en düşük enerji durumu sadece en düşük enerji noktasında durarak doğrudan yeri işaret etmez. Bunun hem belirli bir konumu hem de sıfır değerinde belirli bir hızı olacaktır. Bu durum, hem konumun hem de hızın aynı anda ölçülmesini yasaklayan belirsizlik ilkesinin çiğnenmesidir. Konumdaki belirsizliğin, momentumdaki belirsizlikle çarpımı, Planck sabiti olarak bilinen, belirli bir nicelikten büyük olmalıdır, ki bu sayının yazılması çok uzun sürdüğü için, onun yerine ħ simgesini kullanırız.

(ŞEKİL 2.10)
OLASILIK DAĞILIMI İLE SARKACIN İLİŞKİSİ

Heisenberg ilkesine göre, bir sarkacın, sıfır hızla, mutlak şekilde doğrudan yeri işaret etmesi imkânsızdır. Kuantum kuramı, sarkacın en düşük enerji durumunda bile minimum miktarda titreşimi bulunması gerektiğini öngörür.

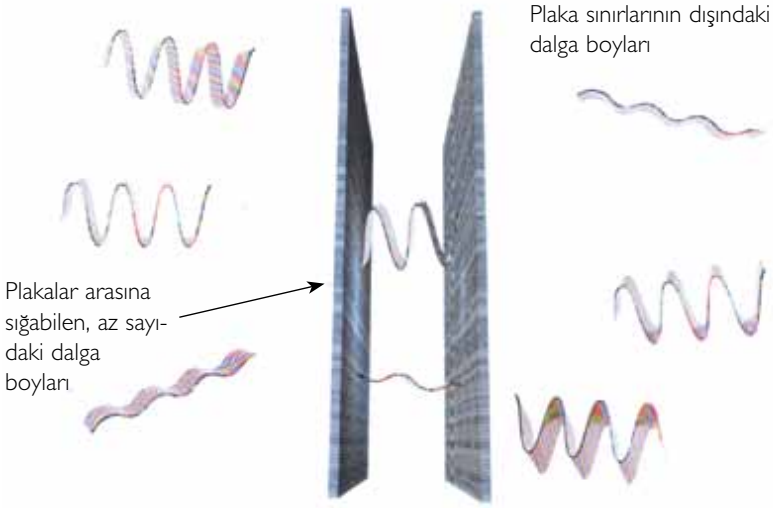
Yani sarkacın konumu bir olasılık dağılımıyla belirlenecektir. Taban durumda, en büyük olasılığa sahip konum, yeri işaret etmesidir, ancak düşeyle küçük bir açı yapma olasılığı da vardır.

Yani bir sarkacın taban durumunun veya en düşük enerjili durumunun bekleneceği gibi sıfır enerjisi yoktur. Bir sarkacın veya salınım yapan herhangi bir sistemin taban durumunda bile minimum miktarda, belirli bir sıfır noktası titreşimleri olmalıdır. Bunlar, sarkacın doğrudan yeri göstermek zorunda olmadığı, ayrıca düşeye yakın küçük bir açı da yapabileceği anlamına gelir (Şekil 2.10). Maxwell alanındaki dalgalar, boşlukta veya en düşük enerji durumunda bile benzer biçimde, tam olarak sıfırlanmaz ve küçük boyutlara sahip olabilir. Sarkacın veya dalganın frekansı (dakikadaki salınımı) ne kadar yüksek olursa, taban durumunun enerjisi de o kadar yüksek olur.

Maxwell ve elektron alanlarındaki taban durum titreşimi hesapları, elektronun kütle ve yükünün sonsuz olduğunu ortaya çıkarmıştır, ancak gözlemler bunu göstermez.

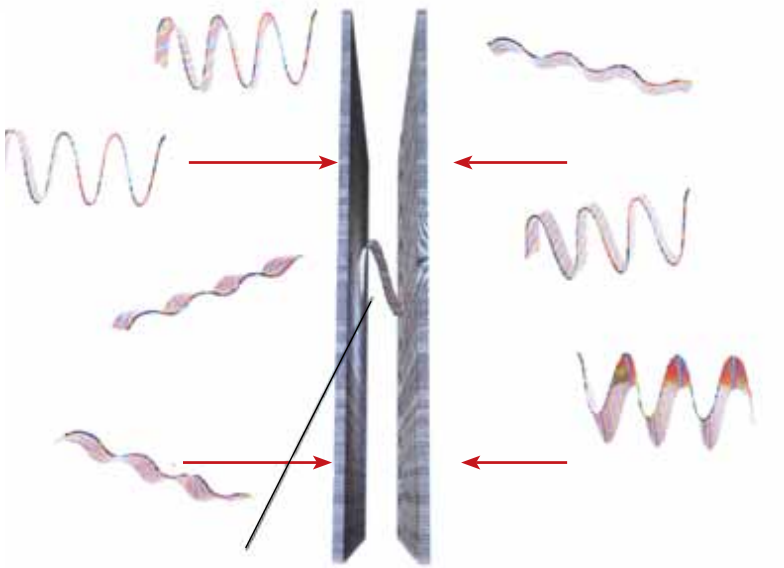
Bununla birlikte, Richard Feynman, Julian Schwinger ve Schinichiro Tomanaga adlı fizikçiler 1940'larda bu sonsuzlukların ortadan kaldırılması veya "çıkarılması" ve kütle ile yükün sadece gözlenen sonlu değerleriyle uğraşmak için tutarlı bir yol geliştirdiler. Yine de taban durum titreşimleri hâlâ ölçülebilen ve yapılan deneyle uyuşan küçük etkilere neden oluyordu. Sonsuzlukların ortadan kaldırılması için benzer çıkarma tasarıları Chen Ning Yang ve Robert Mills tarafından ileri sürülen kuramdaki Yang-Mills alanında işe yarıyordu. Yang-Mills kuramı, Maxwell kuramının, zayıf ve yeğin nükleer kuvvetler adı verilen diğer iki kuvveti tanımlayan bir uzantısıdır. Bununla birlikte, taban durum titreşimlerinin kütleçekimle ilgili bir kuantum kuramında çok daha ciddi bir etkisi vardır. Her bir dalga boyunun yine bir taban durumu enerjisi olacaktır. Maxwell alanının dalga boylarının kısalığı hakkında bir kısıtlama olmadığı için uzayzamanın herhangi bir bölgesinde sonsuz sayıda dalga boyu ve sonsuz miktarda taban durum enerjisi mevcuttur. Enerji yoğunluğu, madde gibi bir kütleçekim kaynağı olduğu için, bu sonsuz enerji yoğunluğu, evrende uzayzamanı tek bir noktaya bükmek için yeterli kütleçekim bulunduğu anlamına gelmelidir, ki bu açıkça gerçekleşmemiştir.

Taban durum titreşimlerinin kütleçekimsel bir etkisinin bulunmadığı söylenerek, gözlem ve kuram arasındaki zıtlık gibi görünen problemin çözülmesi umulabilir, ancak bu işe yaramaz. Taban durum titreşimlerinin enerjisi Casimir etkisiyle belirlenebilir. Eğer bir çift metal plakayı birbirine paralel ve yakın tutarsanız, plakalar arasındaki dalga boyu sayısının dış taraftakilere göre biraz azalması şeklinde bir etki ortaya çıkar. Yani plakalar arasındaki taban durum titreşimlerinin enerji yoğunluğu hâlâ sonsuz olsa da, dış tarafta bulunan enerji yoğunluğundan sonlu bir değerle daha azdır (Şekil 2.11). Enerji yoğunluğundaki bu fark, plakaları birbirine çeken bir kuvveti ortaya çıkarır ve bu kuvvet deneysel olarak gözlemlenmiştir. Kuvvetler, tıpkı madde gibi, genel görelilikteki bir kütleçekim kaynağıdır, bu yüzden bu enerji farkının kütleçekim etkisini yok saymak tutarlı olmayacaktır.



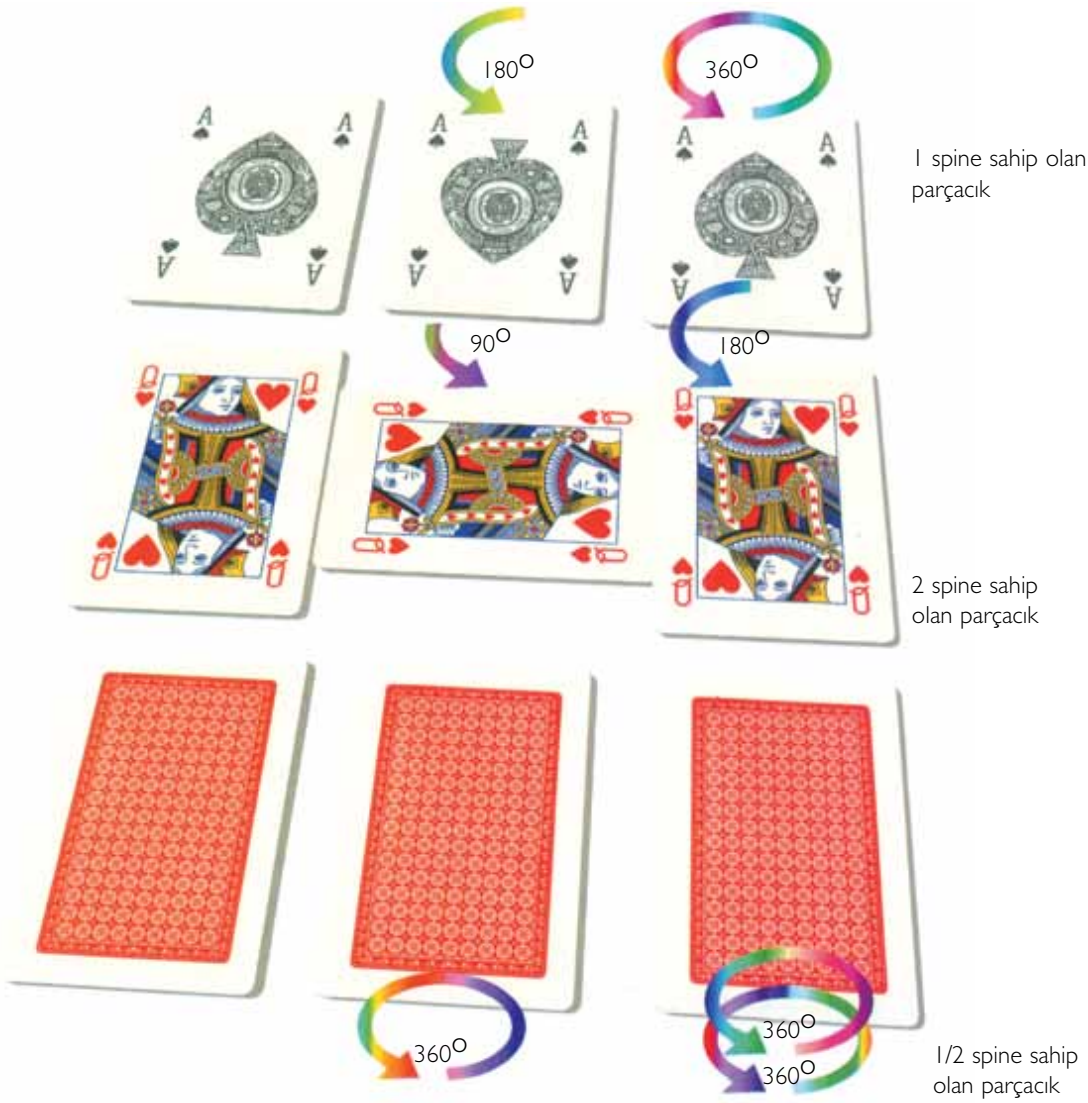
(ŞEKİL 2.11)
CASIMIR ETKİSİ

Taban durum titreşimlerinin varlığı, paralel metal plakalar arasındaki küçük bir kuvvet olan Casimir etkisiyle, deneysel olarak doğrulanmıştır.



Plakalar arasındaki taban durum titreşimlerinin enerji yoğunluğu, dışarıdaki yoğunluktan daha azdır; bu durum plakaların birbirine doğru çekilmesine neden olur.

Taban durum titreşimlerinin enerji yoğunluğu plakaların dışında daha büyüktür.

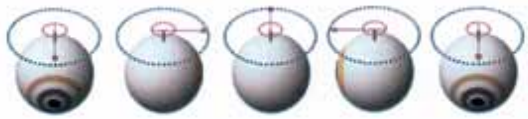


(Şekil 2.12) SPİN

Bütün parçacıkların, farklı yönlerden görünüşüyle ilgili, spin [dönüş] adı verilen bir özelliği vardır. Buna bir paket oyun kâğıdıyla örnek verebiliriz. İlk önce maça asını düşünün. Bu, sadece tam bir tur veya 360 derece döndürürseniz aynı görünür. Bu nedenle 1 spine sahip olduğu söylenir.

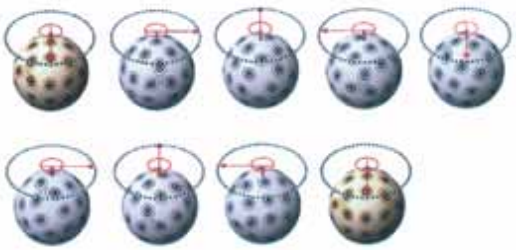
Buna karşın, kupa kızının iki başı vardır. Bu nedenle sadece yarım tur, yani 180 derece döndürülürse aynı olur. 2 spine sahiptir denir. Benzer şekilde, daha küçük spin kesirlerinde aynı görünecek, 3 spine veya daha yükseğine sahip nesneler düşünülebilir.

Spin ne kadar yüksek olursa, parçacığın aynı görünmesi için gereken tam bir turun kesri de o kadar küçük olur. Ancak dikkate değer bir gerçek, sadece tam iki tur döndürdüğünüzde aynı görünen parçacıkların bulunmasıdır. Böyle parçacıkların 1/2 spine sahip olduğu söylenir.



1 spine sahip olan parçacık

2 spine sahip olan parçacık



1/2 spine sahip olan parçacık

Bu problemin olası başka bir çözümü ise, Einstein'ın, evrenin durağan bir modelini elde etmek amacıyla ortaya koyduğu gibi, kozmolojik bir sabitin bulunduğunu varsaymaktır. Eğer bu sabitin sonsuz, negatif bir değeri olsaydı, serbest uzaydaki taban durum enerjilerinin sonsuz pozitif değerlerini etkisiz kılabilirdi, ancak bu evrensel sabit, oldukça duruma özel gibi görünür, üstelik sıradışı bir kesinliğe ayarlanması gerekecektir.

Neyse ki 1970'te, taban durumu titreşimlerinden kaynaklanan sonsuzlukları etkisiz kılmak için doğal, fiziksel bir mekanizma sağlayan, tamamen yeni bir tür simetri keşfedildi. Süpersimetri, modern matematiksel modellerimizin çeşitli yollarla tanımlanabilecek bir özelliğidir. Bu yollardan biri, uzayzamanın, gördüğümüz boyutların yanında ek boyutlara sahip olduğunu söylemektir. Bunlar Grassmann boyutları olarak adlandırılır, çünkü sıradan gerçek sayılar yerine, Grassmann değişkenleri olarak adlandırılan sayılarla ölçülür. Sıradan sayılar yer değiştirir; yani bunları çarpma sıranız fark etmez: 6 kere 4, 4 kere 6'yla aynıdır. Ancak Grassmann değişkenleri, biri zıt işaret almak üzere yer değiştirir: x kere y, -y kere x'le aynıdır.

Süpersimetri ilk defa bir uzayzamandaki hem sıradan sayı boyutlarının hem de Grassmann boyutlarının eğri değil, düz olduğu madde alanları ve Yang-Mills alanlarındaki sonsuzlukların ortadan kaldırılması için düşünüldü. Ancak bunun eğri olan sıradan sayılara ve Grassmann boyutlarına genişletilmesi doğaldı. Bu durum, farklı miktarlarda süpersimetriye sahip, süper-kütleçekim adı verilen kuramları ortaya çıkardı. Süpersimetrinin sonuçlarından biri ise, her alan veya parçacığın kendisininkinden 1/2 büyük veya 1/2 küçük bir spine sahip bir "süper eş"inin bulunmasının gerekmesidir.

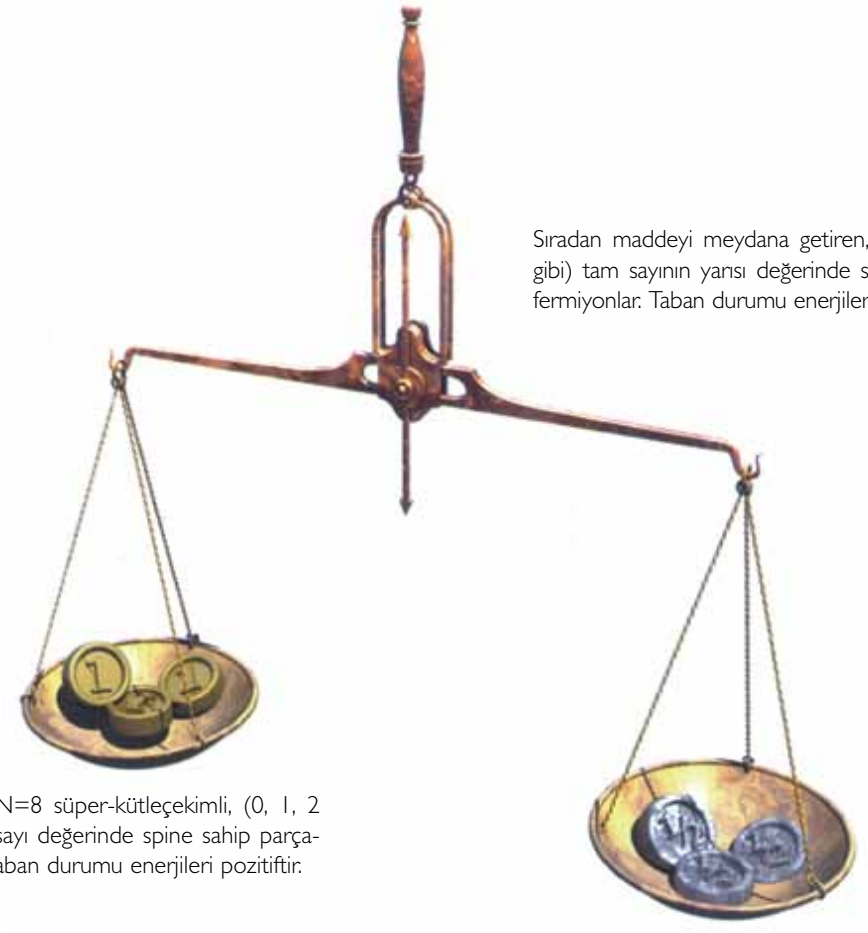
SIRADAN SAYILAR

$A \times B = B \times A$

GRASSMANN SAYILARI

$A \times B = -B \times A$

SÜPER EŞLER



Sıradan maddeyi meydana getiren, (1/2 spin gibi) tam sayının yarısı değerinde spine sahip fermiyonlar. Taban durumu enerjileri negatiftir.

Bozonlar N=8 süper-kütleçekimli, (0, 1, 2 gibi) tam sayı değerinde spine sahip parçacıklardır. Taban durumu enerjileri pozitiftir.

(ŞEKIL 2.13)

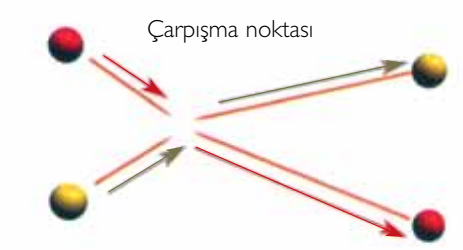
Evrendeki bilinen bütün parçacıklar iki gruptan birine, fermiyonlara (fermion) veya bozonlara (boson) aittir. Fermiyonlar (1/2 spin gibi) tam sayının yarısı değerinde spine sahiptir ve sıradan maddeyi meydana getirir. Taban durumu enerjileri negatiftir.

Bozonlar (0, 1, 2 gibi) tam sayı değerinde spine sahip parçacıklardır ve bunlar fermiyonlar arasındaki, kütleçekim kuvveti ve ışık gibi kuvvetleri ortaya çıkarır. Taban durumu enerjileri pozitiftir. Süper-kütleçekim kuramı her bir fermiyon ve her bir bozonun kendisininkinden 1/2 büyük veya 1/2 küçük spine sahip bir süper eşinin olduğunu varsayar. Örnek olarak, bir foton (ki bu bir bozondur) 1 değerinde bir spine sahiptir. Fotonun süper eşi fotino (photino) 1/2 değerinde spine sahiptir ve bu durum onu bir fermiyon yapar. Bu nedenle, taban durumu enerjisi negatiftir.

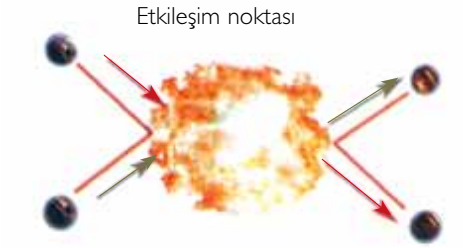
Bu süper-kütleçekim düzeninde eşit sayıda bozon ve fermiyon bulunduğu sonucuna varırız. Bozonların taban durumu enerjilerinin pozitif tarafta ağırlıklı olması ve fermiyonların negatif tarafta olmasıyla, taban durumu enerjileri birbirini etkisiz kılarak en büyük sonsuzlukları ortadan kaldırır.

Parçacık Davranışı Modelleri

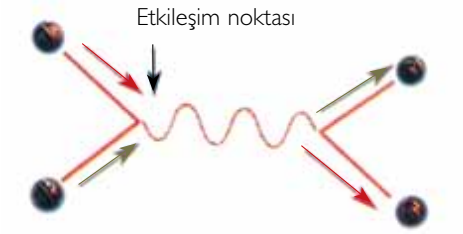
1 Eğer nokta parçacıklar bilardo topları gibi ayrık öğeler şeklinde mevcutsa, ikisi çarpıştığında yolları yeni iki yörüngeye sapar.



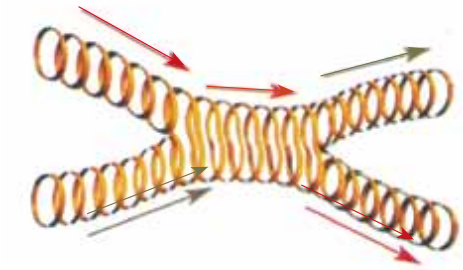
2 Her ne kadar etkisi daha önemli olsa da, bu durum iki parçacık etkileştiğinde ortaya çıkan olaydır.



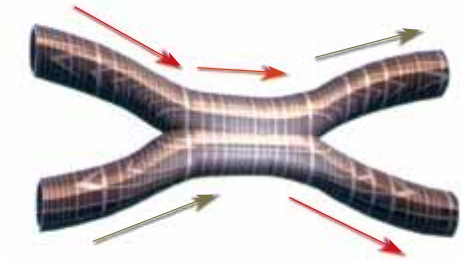
3 Kuantum alanı kuramı bir elektron ve karşı-parçacığının, yani pozitron gibi iki parçacığın çarpışmasını gösterir. Bu şekilde birbirini büyük bir enerji patlamasıyla çabucak yok ederek bir foton yaratırlar. Bu daha sonra enerjisini salarak başka bir elektron-pozitron çifti üretir. Hâlâ yeni iki yörüngeye sapmış gibi görünürler.



4 Bu durum, parçacıkların sıfır boyutlu noktalar değil, bir elektron ile pozitron gibi salınım yapan döngülerin titreştiği tek-boyutlu sicimler olduğunu gösterir. Çarpıştıklarında ve birbirlerini yok ettiklerinde, farklı bir titreşim örüntüsüne sahip yeni bir sicim yaratırlar. Sicim enerji salarak yeni yörüngelerde ilerlemeye devam eden iki sicime bölünür.



5 Eğer bu orijinal sicimler ayrık anlar değil de, zaman içerisinde kesintisiz bir geçmiş olarak izlenirse, sonuçta oluşan sicimler bir sicim dünyası levhası olarak görülür.



(ŞEKIL 2.14, karşı sayfada)
SİCİM SALINIMLARI

Sicim teorisindeki temel nesneler, boşlukta tek bir nokta kaplayan parçacıklar değil, tekboyutlu sicimlerdir. Bu sicimlerin uçları olabilir veya kapalı ilmiklerle kendileriyle birleşebilirler.

Sicim kuramındaki sicimler, tıpkı bir keman teli gibi, dalga boyları iki uca tam olarak denk gelen, belirli titreşim örüntülerini veya rezonans frekanslarını destekler.

Ancak keman tellerinin farklı rezonans frekansları farklı notalar çıkarırken, bir sicimin farklı salınımları temel parçacıklar olarak yorumlanan farklı kütlelere ve kuvvet yüklerine neden olur. Kabaca, sicimdeki salınımın dalga boyu ne kadar kısa olursa, parçacığın kütlesi de o kadar büyük olur.

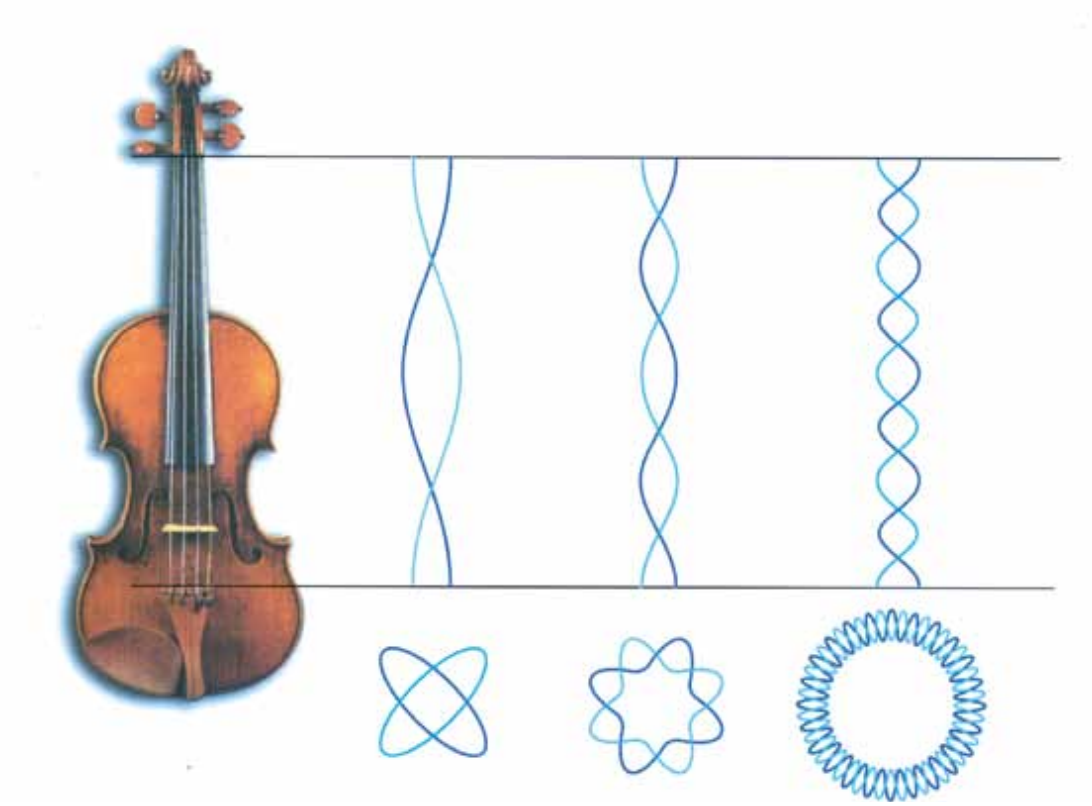
Bozonların tam sayıdaki (0, 1, 2, vb) spine sahip alanlar olan taban durumu enerjileri pozitiftir. Buna karşın, fermiyonların yarım sayılı (1/2, 3/2, vb) spine sahip alanlar olan taban durumu enerjileri negatiftir. Eşit sayıda bozon ve fermiyon bulunduğu için en büyük sonsuzluklar süper-kütleçekim kuramlarında ortadan kalkar (*bkz.* sayfa 58, Şekil 2.13).

Daha küçük ancak hâlâ sonsuz niceliklerin bırakılma olasılığı kalmıştı. Kimsenin, bu teorilerin gerçekten de tam olarak sonlu olup olmadığını hesaplamak için gereken sabrı yoktu. İyi bir öğrencinin bunu hesaplamasının iki yüz yıl süreceği tahmin ediliyordu, üstelik ikinci sayfada bir hata yapmadığını nereden bilecektiniz ki? Çoğu kişi, süpersimetrik süper-kütleçekim kuramlarının sonsuzluk içermeyeceğine 1985'e kadar hâlâ inanıyordu.

Birden bu tavır değişti. İnsanlar süper-kütleçekim kuramlarında sonsuzluk ummamak için hiçbir sebep olmadığını bildirdi, üstelik bu, onların kuram olarak ölümcül hatalar taşıdığı anlamına geliyordu. Süpersimetrik sicim kuramı adlı bir kuramın, kütleçekim ile kuantum kuramını birleştirmenin tek yolu olduğu söyleniyordu. Sicimler, tıpkı gündelik deneyimlerdeki adaşları gibi, tek boyutta uzanan nesnelerdir. Sadece uzunlukları vardır. Sicim kuramındaki sicimler ardalandaki bir uzayzamanda hareket eder. Sicimlerdeki dalgalanmalar parçacıklar olarak yorumlanır (Şekil 2.14).

Eğer sicimlerin sıradan sayı boyutları olduğu kadar Grassmann boyutları da varsa, dalgalanmalar bozonlara ve fermiyonlara karşılık gelir. Pozitif ve negatif taban durumu enerjileri bu durumda birbirini o kadar etkisiz kılacaktır ki, küçük bile olsa, hiçbir sonsuzluk bulunmayacaktır. Sicimlerin, Her Şeyin Kuramı (Theory of Everything–TOE) olduğu iddia ediliyordu.

Gelecekteki bilim tarihçileri, kuramsal fizikçiler arasındaki fikir değişikliklerini incelemeyi ilginç bulacaktır. Sicimler birkaç yıl boyunca üstünlük kazandı ve süper-kütleçekim, düşük enerjide geçerli, yaklaşık bir kuram olarak bir kenara atıldı. Her ne kadar düşük enerjiler bu kapsamda bir TNT patlamasındaki parçacıkların sahip olduğundan milyar kere milyar daha az enerjiye



sahip parçacıklar anlamına gelse de, "düşük enerji" nitelemesinin özellikle aleyhte olduğu düşünülüyordu. Eğer süper-kütleçekim sadece bir düşük enerji yaklaşımı idiyse, evrenin temel kuramı olduğu iddia edilemezdi. Onun yerine, temelini oluşturan kuramın, olası beş süpersicim kuramından biri olduğu varsayıldı. Ancak bu beş sicim kuramından hangisi evrenimizi tanımlıyordu? Üstelik sicim kuramı, sicimlerin ardalandaki düz bir uzayzamanda hareket eden, bir uzay boyutuna ve bir zaman boyutuna sahip yüzeyler şeklinde tasvir edildiği yaklaşımın ötesinde nasıl formülleştirilebilirdi? Sicimler ardalandaki uzayzamanı bükmez miydi?

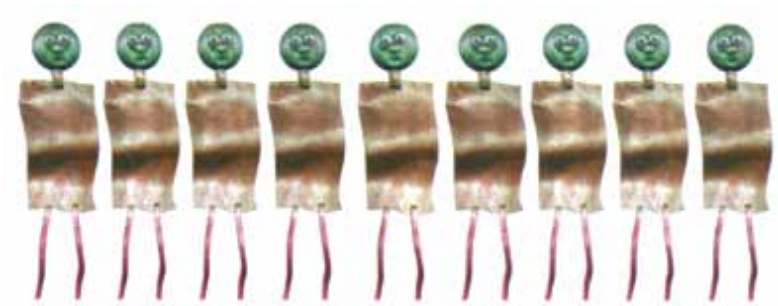
Sicim kuramının her şeyi açıkça ortaya çıkarmadığı, 1985'ten sonraki yıllarda belirginleşti. Bir başlangıç noktası olarak, sicimlerin

birden fazla boyutta uzatılabilen nesnelerden meydana gelen, geniş çaplı bir sınıfın sadece bir elemanı olduğu anlaşıldı. Benim gibi, Cambridge'deki Uygulamalı Matematik ve Kuramsal Fizik Bölümü'nün bir üyesi olan ve bu nesneler üzerindeki temel çalışmaların çoğunu gerçekleştiren Paul Townsend onlara "p-zar"* adını verdi. Bir p-zarın p boyutta uzunluğu vardır. Buna göre p=1 olan bir zar bir sicimdir, p=2 olan bir zar bir yüzey veya membrandır vb (Şekil 2.15). P=1 sicim durumunu diğer p değerlerine göre kayırmanın hiçbir nedeni yokmuş gibi görünür. Bunun yerine, p-zar demokrasisini kabul etmemiz gerekir: Bütün p-zarlar eşit yaratılmıştır.

Bütün p-zarlar, on veya on bir boyuttaki süper-kütleçekim kuramı denklemlerinin çözümleri olarak bulunabilir. on veya on bir boyut, bize gördüğümüz uzayzaman gibi gelmez, ancak temel fikir, diğer altı veya yedi boyutun kıvrılarak çok küçülmesi nedeniyle onları fark etmememizdi; sadece geriye kalan büyük ve düze yakın dört boyutun farkındaydık.

Şu gerçekleri olduğu gibi kabul ediyoruz: Bütün p-zarlar eşit yaratılmıştır!

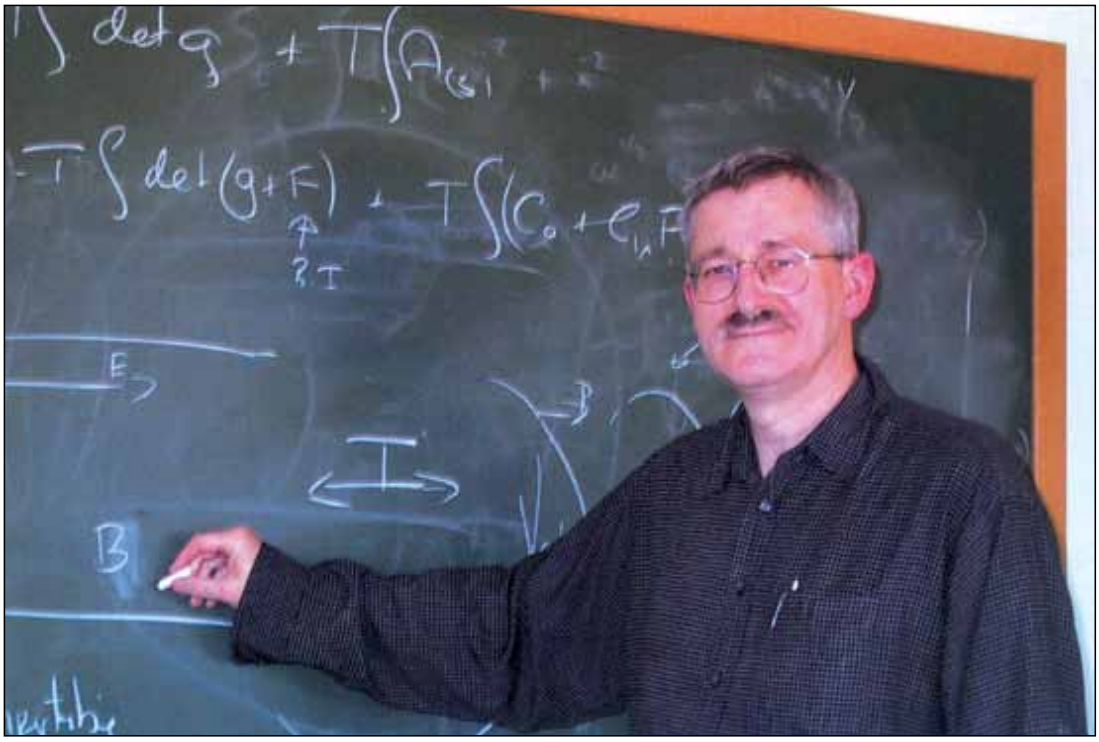
Kişisel olarak şunu demeliyim ki, ek boyutlara inanma konusunda isteksiz olmuşumdur. Ancak bir pozitivist olduğum için, "Ek boyutlar gerçekten var mı?" sorusunun hiçbir anlamı yoktur. Sorulabilecek tek şey, ek boyutları olan matematiksel modellerin, evrenin iyi bir tanımını sağlayıp sağlamadığıdır. Açıklamaları için ek boyutlar gerektiren henüz hiçbir gözlemimiz olmadı. Bununla birlikte, onları Cenevre'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda (Large Hadron Collider) gözlemleme olasılığımız mevcut.



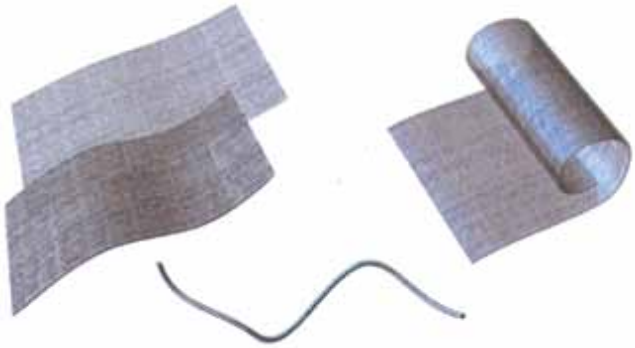
(ŞEKIL. 2.15) P-ZARLAR

P-zarlar p boyutlarında uzanan nesnelerdir. Özel durumlar p=1 olduğu sicimler ve p=2 olduğu membranlardır, ancak daha yüksek p değerleri on veya on birboyutlu uzayzamanda olasıdır. P boyutlarının bir kısmı veya hepsi çoğunlukla bir çörek şeklinde kıvrılır.

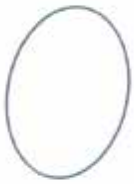
* P-brane, İngilizce membrane kelimesinden –çn.



Paul Townsend, p-zar âlimi



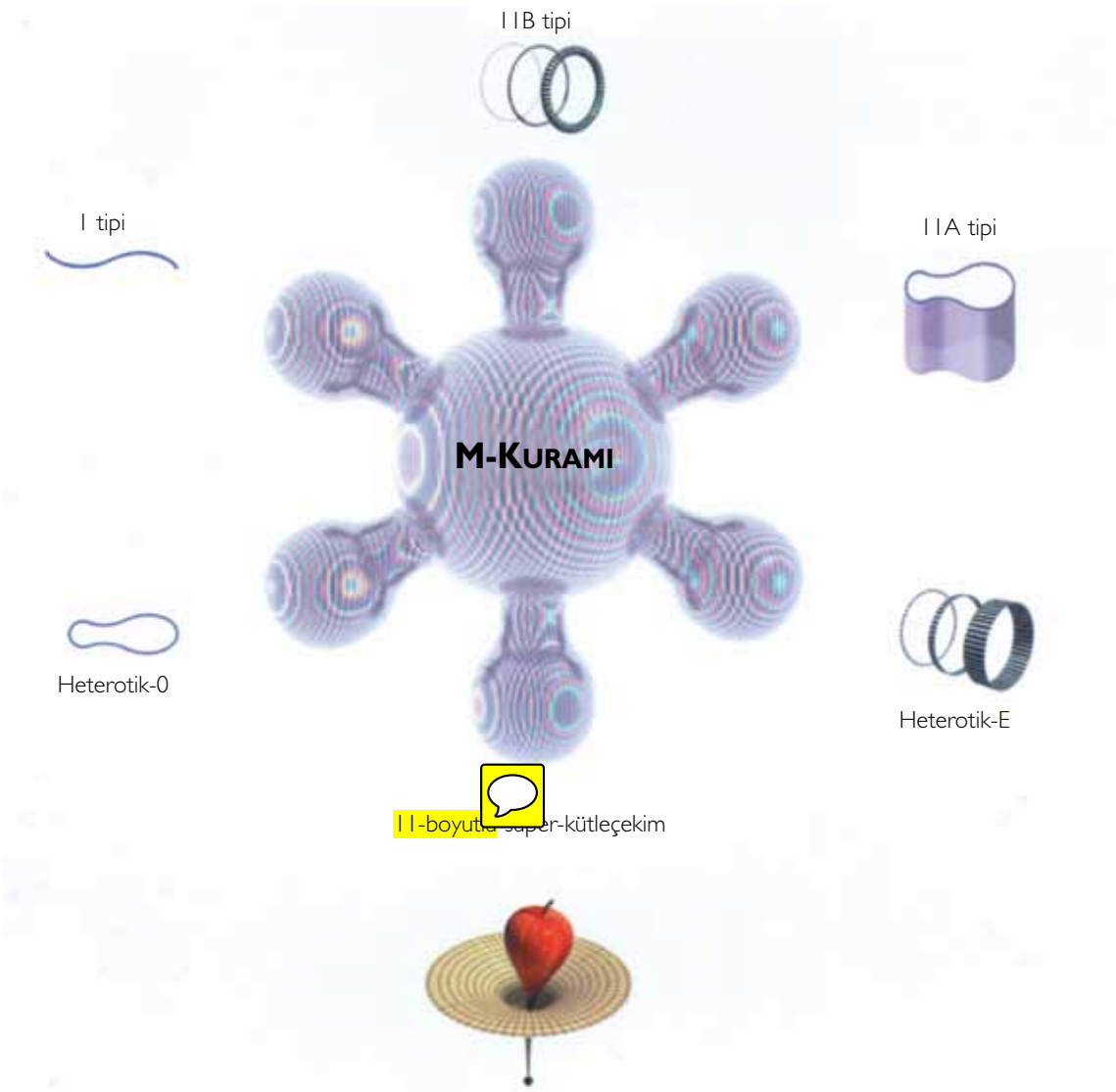
Evrenimizin uzaysal kumaşının hem yayılan hem de kıvrılmış boyutları bulunabilir. Membranlar kıvrıldıklarında daha iyi gözükebilir.



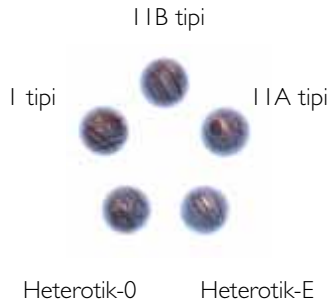
Kıvrılmış bir 1-zar ya da sicim

Çörek şeklinde kıvrılmış bir 2-zar levhası

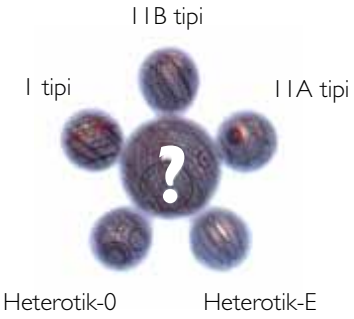
(Şekil 2.16) Birleşik Bir İskelet



On bir-boyutlu süper-kütleçekimle birlikte, beş sicim kuramının hepsini birleştiren, ikilikler adı verilen bir ilişki ağı mevcuttur. İkilikler, farklı sicim kuramlarının, M kuramı olarak adlandırılan temeldeki aynı kuramın sadece farklı ifadeleri olduğu önermesini getirir.



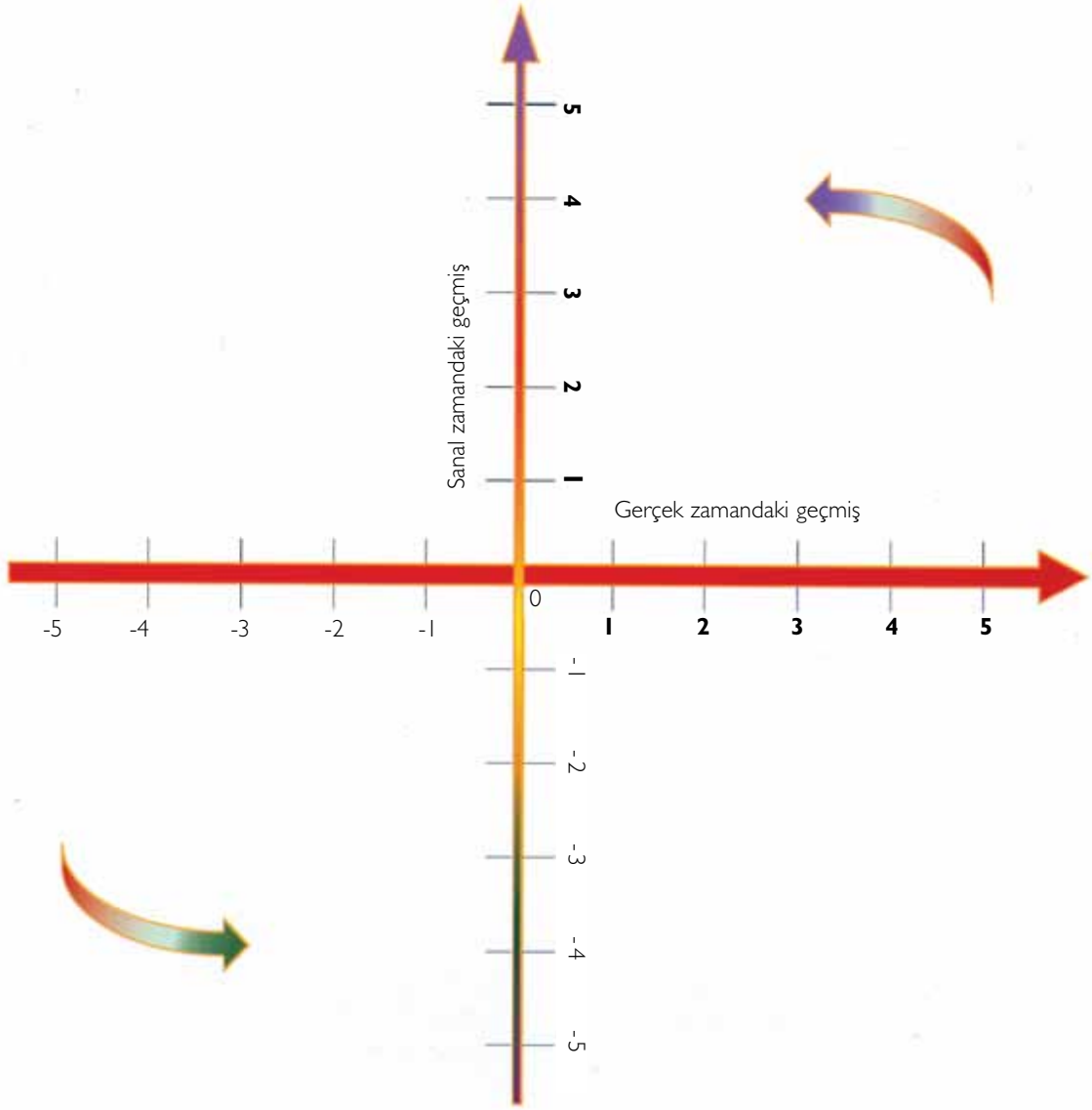
1990'ların ortalarından önce, her biri ayrı ve bağımsız olan, farklı beş sicim kuramı vardı.



M kuramı, beş sicim kuramını kuramsal tek bir iskelette birleştirir, ancak özelliklerinin birçoğunun hâlâ anlaşılması gereklidir.

Ancak ben de dahil olmak üzere birçok kişiyi, ek boyutlara sahip modelleri ciddiye alma konusunda ikna eden, modeller arasında ikilikler adı verilen, umulmadık bir ilişki ağı bulunmasıydı. Bu ikilikler, modellerin özellikle denk olduğunu gösterir, yani modeller M kuramı olarak adlandırılan, temel aynı kuramın sadece farklı yönleridir. Bu ikilik ağını doğru yolda olduğumuzun bir işareti olarak görmemek, biraz da, Tanrı'nın, Darwin'i hayatın evrimi konusunda yanlış yola sevk etmek için kayalara fosiller yerleştirdiğine inanmaya benzer.

Bu ikilikler, süpersicim kuramlarının beşinin de aynı fiziği tanımladığını ve süper-kütleçekime de fiziksel olarak denk olduğunu gösterir (Şekil 2.16). Süpersicimlerin süper-kütleçekimden daha önemli olduğu veya süper-kütleçekimin süpersicimden daha önemli olduğu söylenemez. Onlar daha çok, temeldeki aynı kuramın farklı ifadeleridir ve her biri, farklı tipte bulunan durumlardaki hesaplamalarda faydalıdır. Sicim kuramlarının sonsuzlukları olmadığı için, yüksek enerjili birkaç parçacık çarpıştığında ve birbirini yok ettiğinde gerçekleşecekleri hesaplamak için faydalıdır. Bununla birlikte, çok sayıda parçacığın enerjisinin evreni nasıl büktüğünün veya kara delik gibi uç bir durum meydana getirdiğinin tanımlanması için pek faydalı değildir. Bu durumlar için süper-kütleçekim gereklidir, bu ise temel olarak Einstein'ın eğri uzayzaman kuramıdır, ancak ek birtakım madde türleri içerir. İlerleyen sayfalarda esas olarak bu fikri kullanacağım.



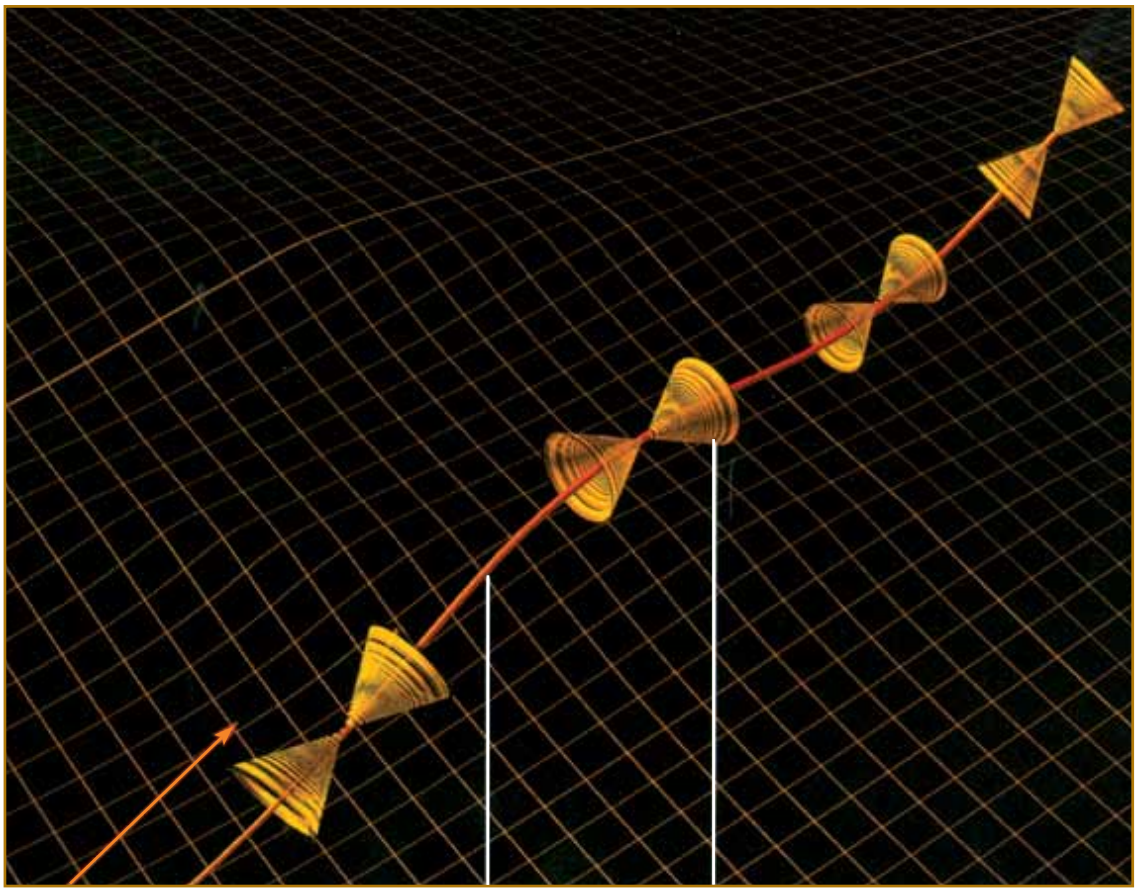
(Şekil 2.17)
İçinde, bilinen gerçek zamana dik açıda sanal bir zaman doğrultusu olan matematiksel bir model meydana getirilebilir. Modelin sanal zamandaki tarihi gerçek zamandaki tarihte tanımlayan ve aksi şekilde kuralları vardır.

(ŞEKIL 2.18)
Sanal sayılar matematiksel bir yapıdır. Elinize sanal sayıları olan bir kredi kartı faturası geçemez.

Kuantum kuramının zaman ve uzaya şekil verme biçimini tanımlamak için sanal zaman fikrini ortaya çıkarmak faydalı olur. Sanal zaman size bilimkurgudan çıkmış gibi gelebilir, ancak iyi tanımlanmış, matematiksel bir kavramdır: sanal sayılarla ölçülen zaman. 1, 2, -3, 5, vb gibi sıradan normal sayıların soldan sağa uzanan bir doğru üzerindeki konumlara karşılık geldiği düşünülebilir: Sıfır ortada, pozitif gerçek sayılar sağ tarafta ve negatif gerçek sayılar sol taraftadır (Şekil 2.17).

Bunun ardından, sanal sayılar düşey bir doğrudaki konumlara karşılık gelecek şekilde gösterilebilir: Sıfır yine ortadadır, pozitif sanal sayılar yukarı, negatif sanal sayılar ise aşağı doğrudur. Bu şekilde, sanal sayılar, sıradan gerçek sayılarla dik açı yapan, yeni bir sayı türü olarak düşünülebilir. Matematiksel bir yapı oldukları için fiziksel bir algılama gerektirmezler; sanal sayı da portakal veya sanal bir kredi kartı faturası olamaz (Şekil 2.18).

Bunun, sanal sayıların gerçek dünyayla bir alakası bulunmayan, sadece matematiksel bir oyun manasına geldiğini düşünebilirsiniz. Bununla birlikte, pozitivist bakış açısına göre, bir kişi neyin gerçek olduğu belirleyemez. Yapılabileceği tek şey, içinde yaşadığımız evreni tanımlayan matematiksel modeli bulmaktır. Sanal zamanı kapsayan matematiksel bir model, sadece önceden gözlemlediğimiz etkileri değil, ölçemediğimiz ancak başka nedenlerle inandığımız etkileri de bildirir. Öyleyse gerçek nedir, sanal nedir? Yoksa aradaki fark sadece zihnimizde mi?



(ŞEKIL 2.19)

Zaman, klasik genel göreliliğin gerçek zamanlı uzayzamanında uzay doğrultularından ayrılmıştır, çünkü bir gözlemcinin geçmişi boyunca artabilen veya azabilen uzay doğrultularının aksine, sadece bu geçmiş boyunca artar. Buna karşın, kuantum kuramının sanal zaman doğrultusu, başka bir uzay doğrultusu gibidir, bu yüzden artabilir veya azalabilir.

Einstein'ın klasik (yani kuantum dışı) genel görelilik kuramı, gerçek zaman ile uzayın üç boyutunu, dört-boyutlu bir uzayzamanda birleştirdi. Ancak gerçek zaman, uzaysal üç doğrultudan ayrılmıştı; bir gözlemcinin dünya çizgisi veya geçmişi hep gerçek zaman yönünde artıyordu (yani zaman hep geçmişten geleceğe ilerliyordu), ancak uzaysal üç doğrultunun herhangi birinde artabilir veya azalabilirdi. Başka bir deyişle, uzaydaki doğrultu değiştirilebilirdi, ancak zamandaki değiştirilemezdi (Şekil 2.19).

Buna karşın, sanal zaman, gerçek zamanla dik açılar yaptığı için uzaysal dördüncü bir doğrultu gibi davranır.

(ŞEKİL 2.20) SANAL ZAMAN

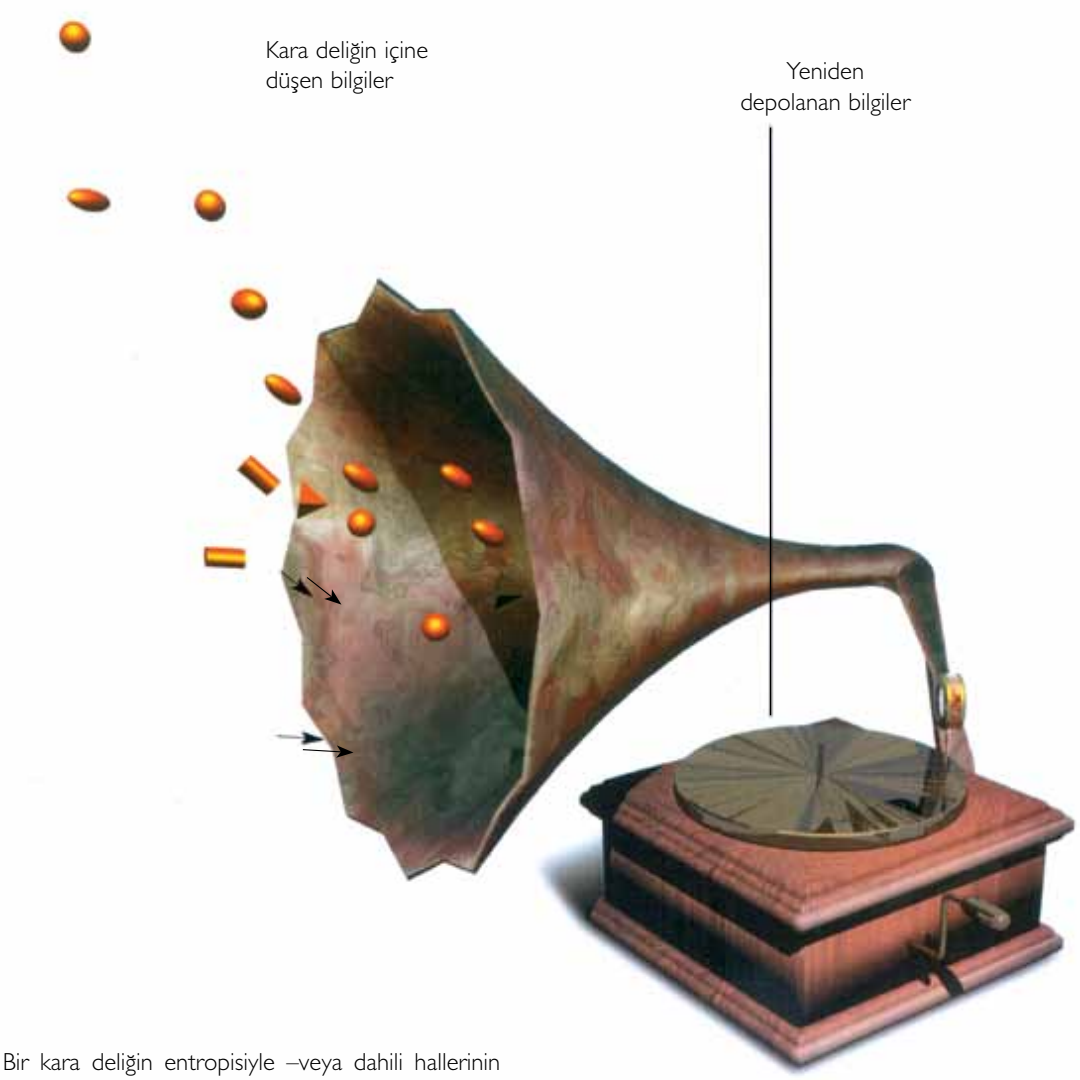
Sanal zaman doğrultusu, bir küre şeklindeki, sanal bir uzayzamanda, güney kutbuna olan mesafeyi temsil edebilir. Kuzeye doğru gidildikçe, güney kutbuna sabit mesafelerde bulunan enlemler büyür, bu durum sanal zamanla genişleyen evrene karşılık gelir. Evren, ekvatorda maksimum boyuta ulaşacak ve artan sanal zamanla, kuzey kutbundaki tek bir noktada tekrar büzülecektir. Evrenin kutuplardaki boyutu sıfır olacaktır, ancak bu noktalar, tıpkı Dünya'nın yüzeyindeki kuzey ve güney kutbunun mükemmel şekilde muntazam noktalar olması gibi, tekillik olmayacaktır. Bu durum, evrenin sanal zamandaki başlangıcının, uzayzamandaki muntazam bir nokta olabileceğine işaret eder.

Enlem derecesi cinsinden sanal zaman

(ŞEKİL 2.21)

Küre şeklindeki bir uzayzamandaki sanal zaman doğrultusu, enlem dereceleri yerine, boylam derecelerine de karşılık gelebilir. Bütün boylam çizgileri kuzey ve güney kutbunda birleştiği için zaman kutuplarda durağandır; tıpkı bir kişi Dünya'daki kuzey kutbunda batıya doğru gidince hâlâ kuzey kutbunda kalacağı gibi, sanal zamandaki bir artış da o kişiyi aynı noktada tutar.

Kuzey ve güney kutbunda birleşen boylam derecesi cinsinden sanal zaman



Bir kara deliğin entropisiyle –veya dahili hallerinin sayısı– ilgili alan formülü, kara deliğin içine düşenler hakkındaki bilgilerin, bir plakta olduğu gibi depolandığına ve kara delik buharlaştıkça "çalındığına" işaret eder.

Bu nedenle, sanal zamanın, sadece bir başlangıç veya sona sahip olabilen ya da daireler çizebilen sıradan gerçek zaman demiryolundan daha geniş bir olasılık yelpazesi bulunacaktır. Zamanın bir şekle sahip olması bu sanal anlayıştadır.

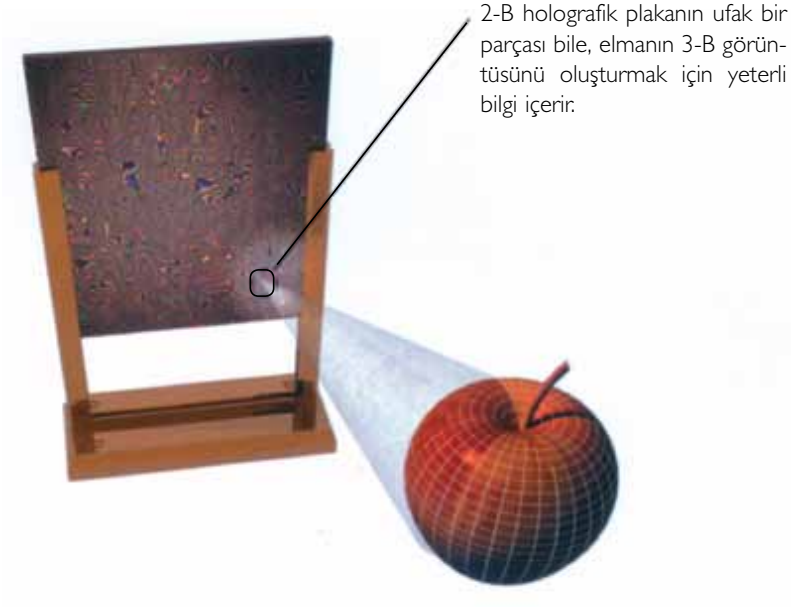
Olasılıkların bazılarını görmek için, Dünya'nın yüzeyi gibi, küre şeklindeki bir sanal zaman uzayzamanı düşünün. Sanal zamanın, boylam dereceleri olduğunu varsayın (*bkz.* sayfa 69, Şekil 2.20). Böylece evrenin sanal zamandaki tarihi güney kutbunda başlayacaktır. "Başlangıçtan önce ne oldu?" diye sormanın hiçbir anlamı olmayacaktır. Bu tür zamanlar güney kutbunun güneyinde bulunan noktalar kadar tanımsızdır. Güney kutbu Dünya'nın yüzeyindeki mükemmel şekilde muntazam bir noktadır ve aynı yasalar başka noktalarda olduğu gibi orada da geçerlidir. Bu durum, evrenin sanal zamandaki başlangıcının, uzayzamanın muntazam bir noktası olabileceğine ve aynı yasaların, evrenin geri kalanında olduğu gibi, başlangıçta da geçerlilik kazanabileceğine işaret eder. (Evrenin kuantum başlangıcı ve evrimini bir sonraki bölümde ele alacağız.)

Olası diğer bir davranış ise, sanal zamanın Dünya üzerindeki enlem dereceleri olduğu varsayılarak tasvir edilebilir. Bütün boylam çizgileri kuzey ve güney kutbunda birleşir (*bkz.* sayfa 69, Şekil 2.21). Böylece zaman, sanal zamandaki veya boylam derecelerindeki bir artışın bir kişiyi aynı noktada tutması gibi, orada sabit kalır. Bu durum sıradan zamanın, bir kara deliğin ufkunda durmasına çok benzer. Şunu anladık ki, (her ikisi de duran veya ikisi de durmayan) gerçek ve sanal zamanın durması, kara delikler için de keşfettiğim gibi, uzayzamanın bir sıcaklığa sahip olduğu anlamına gelir. Bir kara delik, sadece bir sıcaklığa sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda entropi olarak adlandırılan bir niceliği varmış gibi de davranır. Entropi, kara deliğin sadece kütle, spin ve yükünü gözlemleyebilen bir gözlemciye farklı görünmeden sahip olabileceği dahili hal (iç kısmındaki yapılandırılma şekli) sayısının bir ölçüsüdür. Bu kara delik entropisi 1974'te keşfettiğim çok basit bir formülle belirlenir. Kara deliğin entropisi, kara delik ufkunun alanına eşittir: Ufuk alanının temel her bir birimi için kara deliğin dahili hali hakkında bir miktar bilgi vardır.

$$S = \frac{Akc^3}{4\hbar G}$$

KARA DELİK ENTROPİ FORMÜLÜ

A	Kara deliğin olay ufkunun alanı
$\hbar$	Planck sabiti
k	Boltzmann sabiti
G	Newton'un kütleçekim sabiti
c	Işık hızı
S	Entropi

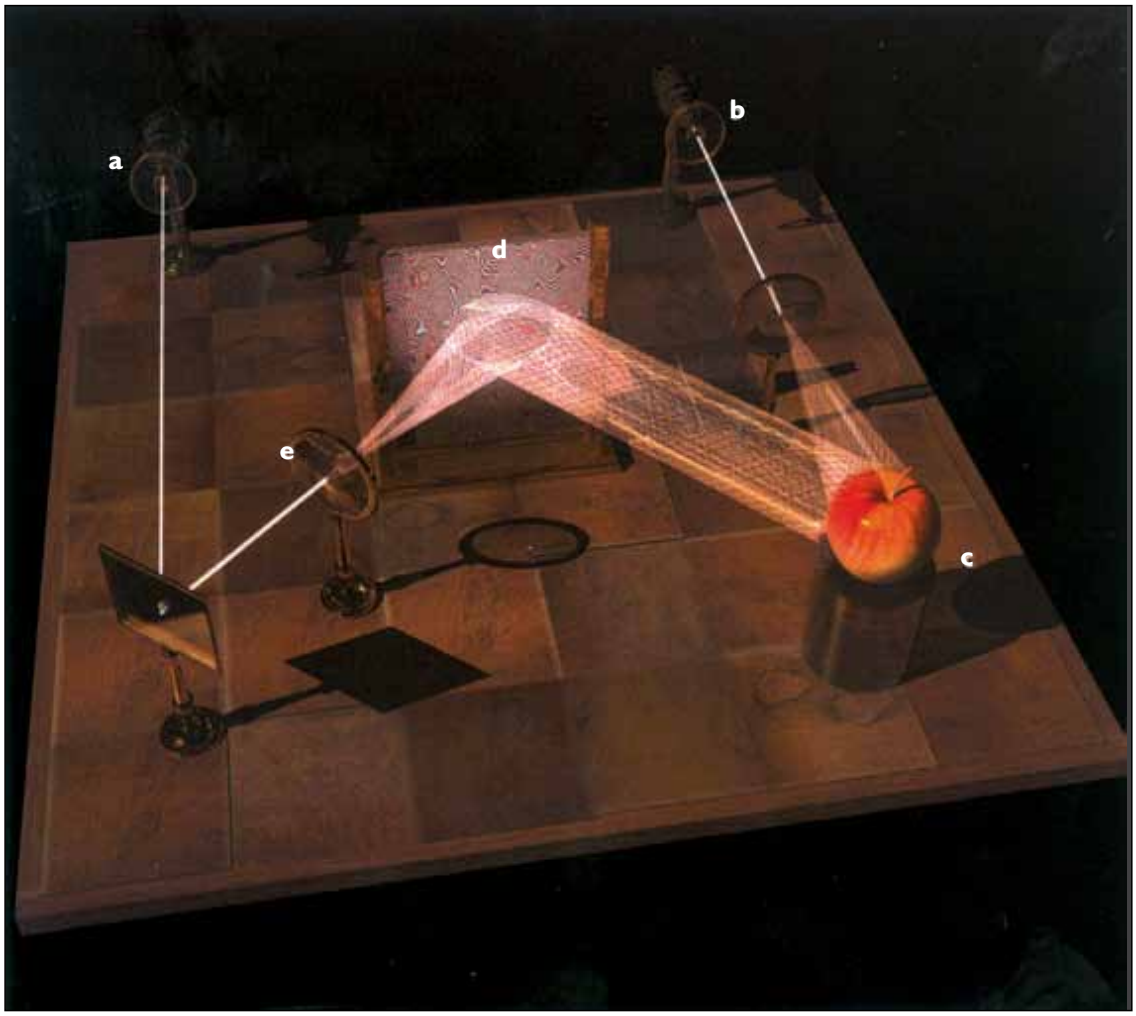


Holografik İlke

Bir kara deliği çevreleyen ufkun yüzey alanının, kara deliğin entropisinin ölçüsü olduğunun anlaşılması, insanları, uzayın kapalı herhangi bir bölgesinin entropisinin, bölgeyi çevreleyen yüzey alanının dörtte birini hiçbir zaman aşamayacağını savunmaya itmiştir. Entropinin sadece, bir sistemin içerdiği toplam bilginin bir ölçüsü olması, üç-boyutlu dünyadaki bütün olgularla ilgili bilgilerin, holografik bir görüntü gibi, iki-boyutlu sınırında depolanacağına işaret eder. Dünya kesin bir anlamda iki-boyutlu olacaktır.

Bu durum, kuantum kütleçekim ile (entropinin incelenmesini de kapsayan) termodinamik, yani ısı bilimi arasında sıkı bir bağlantı olduğunu gösterir. Ayrıca kuantum kütleçekimin holografi de gösterebileceğine işaret eder (Şekil 2.22).

Uzayzamanın bir bölgesindeki kuantum durumları hakkındaki bilgiler, bölgenin iki boyutu eksik sınırında, bir şekilde kodlanmış olabilir. Kuantum kütleçekimin holografik ilkeyi kapsaması, kara deliklerin içindekileri izleyebileceğimiz anlamına gelebilir. Bu durum, kara deliklerden çıkan ışınımı öngörebilirsek önem kazanır. Eğer bunu yapamazsak, geleceği düşündüğümüz kesinlikle öngöremeyiz. Bu konuyu Bölüm 4'te ele alacağız. Holografiyi ise Bölüm 7'de ele alacağız. Öyle görünüyor ki, belki de bir 3-zar –geri kalan boyutların kıvrılarak çok küçüldüğü, beş-boyutlu bir bölgenin sınırı olan dört-boyutlu (üç uzay ve bir de zaman boyutuna sahip) bir yüzey– üzerinde yaşıyoruz. Dünyanın bir zar üzerindeki durumu, beş-boyutlu bölgede gerçekleşenleri kodluyor.



(ŞEKİL 2.22) Holografi esasen dalga örüntülerinin girişiminin bir olgusudur. Tek bir lazerden gelen ışık, ayrı iki **(a)** ve **(b)** demetine ayrıldığında, hologramlar yaratılır. Biri **(b)** nesneden **(c)** ışığa duyarlı bir plaka **(d)** üzerine seker. Diğeri **(a)** ise bir mercekten **(e)** geçer ve yansıtılan **(b)** ışığıyla çarpışarak plaka üzerinde bir girişim örüntüsü yaratır.

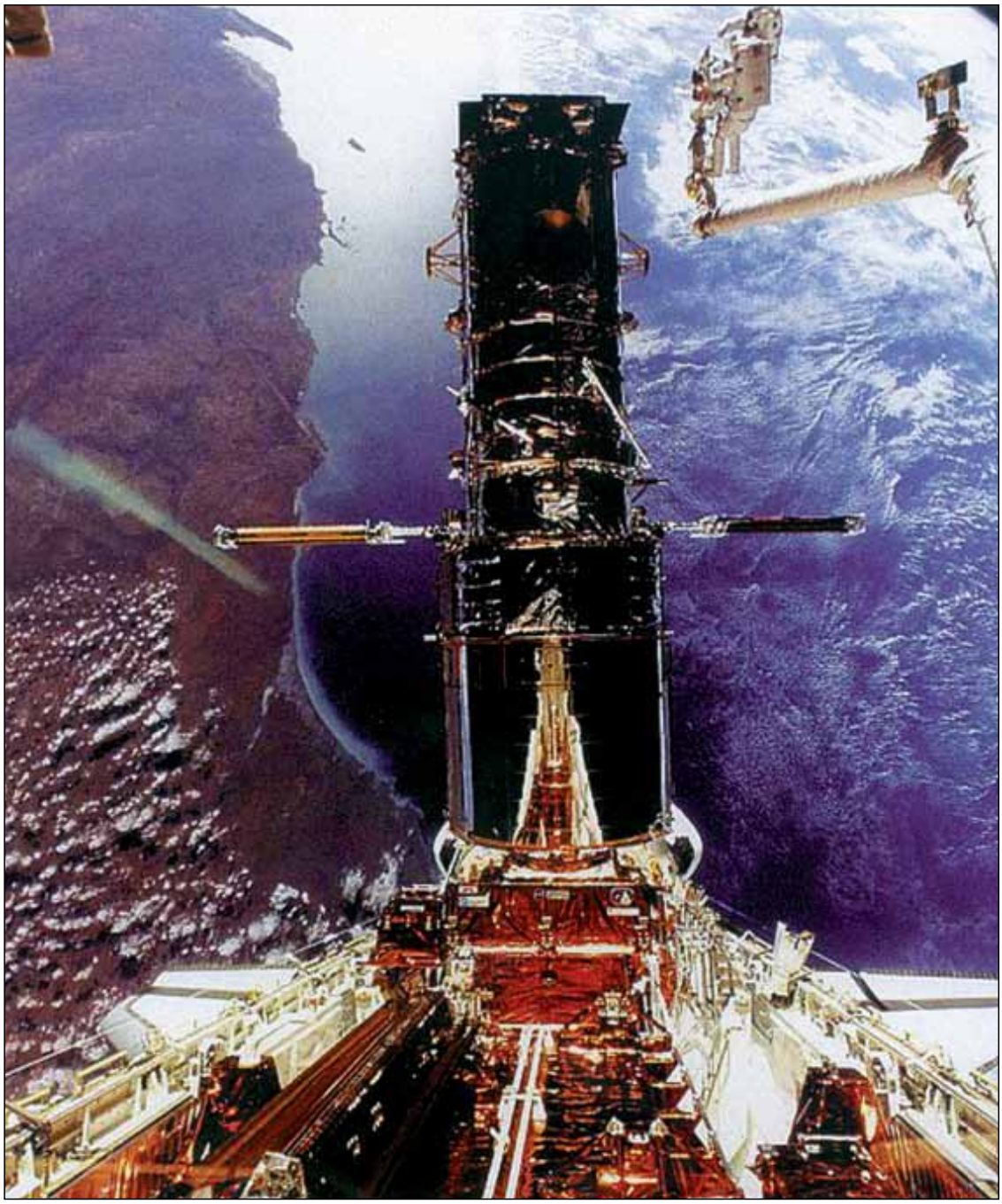
Banyo edilmiş plakadan bir lazer geçirildiğinde, orijinal nesnenin üç-boyutlu, tam bir görüntüsü belirir. Bir gözlemci, bu holografik görüntünün etrafında hareket ederek, normal bir fotoğrafın gösteremeyeceği, gizlenen bütün yüzleri görebilir.

Sol taraftaki plakanın iki-boyutlu yüzeyindeki, küçük, herhangi bir parça, normal bir fotoğrafın aksine, görüntünün tamamını yeniden yapılandırmak için gereken bütün bilgileri içerir.

BÖLÜM 3

CEVİZ KABUĞUNDAKİ EVREN

Evrenin, her biri küçük bir cevizle belirlenen, birden fazla geçmişi vardır



Bir ceviz kabuğunda hapis olabilirdim ve kendimi sonsuz uzayın bir kralı sayabilirdim...

– Shakespeare,
Hamlet, 2. Perde, Sahne 2

Belki de Hamlet, her ne kadar biz insanlar fiziksel olarak kısıtlanmış olsak da, zihinlerimizin evrenin tamamını keşfetmek ve *Uzay Yolu*'nun bile gitmeye korktuğu –kötü rüyaların izin verdiği– yerlere cesurca gitmek için serbest olduğunu kastetti.

Evren gerçekte sonsuz mu, yoksa sadece çok mu büyük? Ayrıca ebedi mi, yoksa sadece uzun ömürlü mü? Sonlu zihinlerimiz sonsuz bir uzayı nasıl kavrayabilir? Buna çaba göstermemiz bile bizim için küstahça değil mi? Klasik mitolojide insanların kullanması için ateşi Zeus'tan çalan ve cüreti nedeniyle bir kayaya zincirlenerek bir kartalın, ciğerinden parçalar koparmasıyla cezalandırılan Prometheus'un kaderini göze mi alıyoruz?

Ders verici bu hikâyeye rağmen evreni anlamaya çalışmamız gerektiğine inanıyorum. Kozmosu anlama konusunda, özellikle de son birkaç yılda, önemli bir ilerleme zaten kaydettik. Henüz elimizde evrenin tam bir tasviri yok, ancak bu pek uzakta da olmayabilir.

Uzay hakkındaki en belirgin şey, sürekli uzanıp gittiği. Bu, uzayın derinliklerini araştırmamıza olanak tanıyan Hubble teleskopu gibi modern araçlarla kanıtlandı. Gördüğümüz şey, çeşitli şekil ve boyutlarda milyarlarca, milyarlarca galaksi (*bkz.* sayfa 78, Şekil 3.1). Her bir galaksi sayısız yıldız içeriyor, birçoğunun etrafında da gezegenler bulunuyor. Biz ise Samanyolu spiral galaksisinin dış tarafındaki kollardan birinde bulunan bir yıldızın yörüngesinde dönen bir gezegende yaşıyoruz.

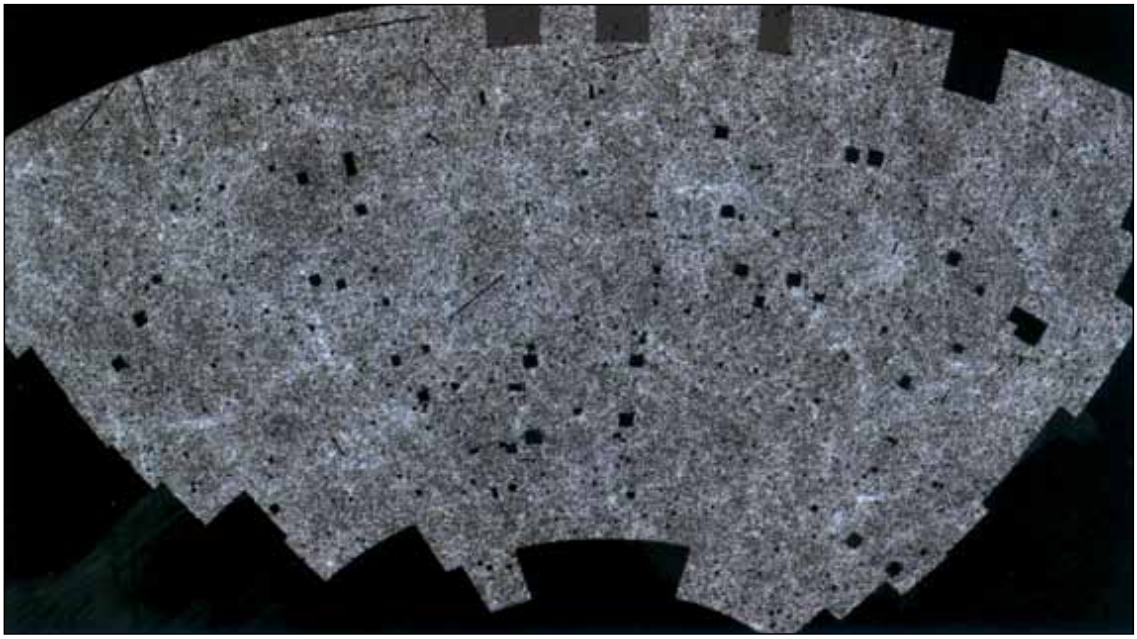
Yukarıda: *Prometheus. İÖ 6. yüzyıl Etrüsk vazo resmi.*

Solda: *Bir uzay mekiği misyonu tarafından terfi edilen Hubble uzay teleskopu mercek ve aynaları. Aşağıda Avustralya görülebilir.*

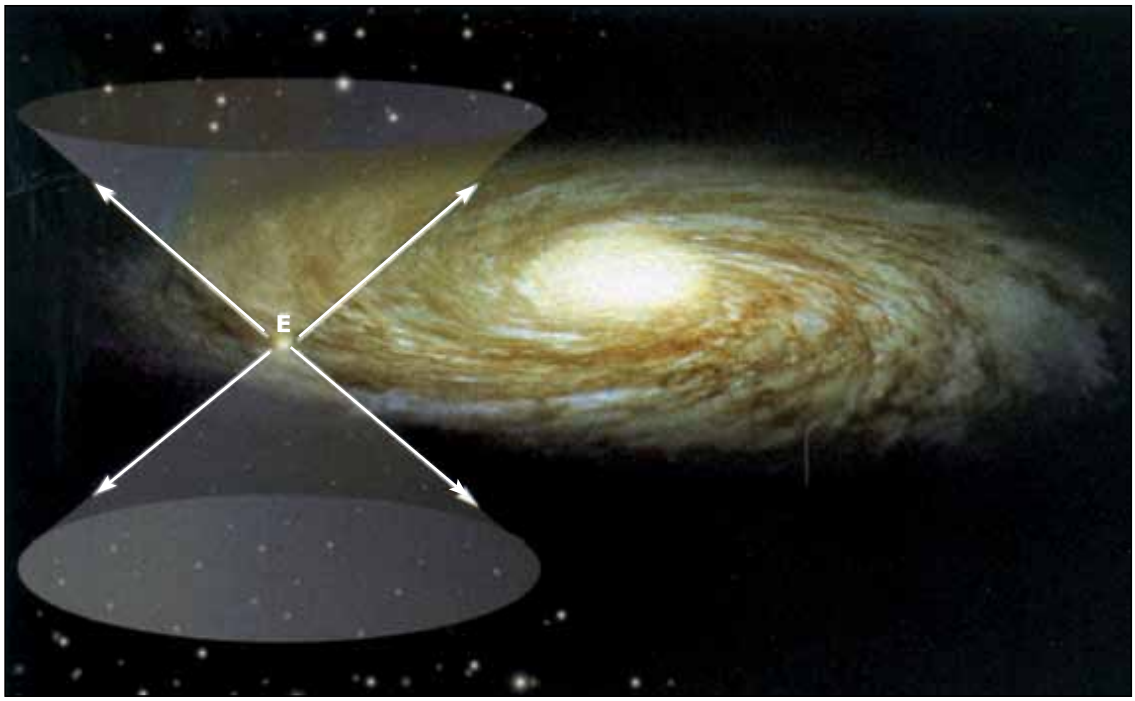
NGC 4414 spiral galaksisi

NGC 4314 spiral çubuk galaksisi

NGC 147 eliptik galaksisi



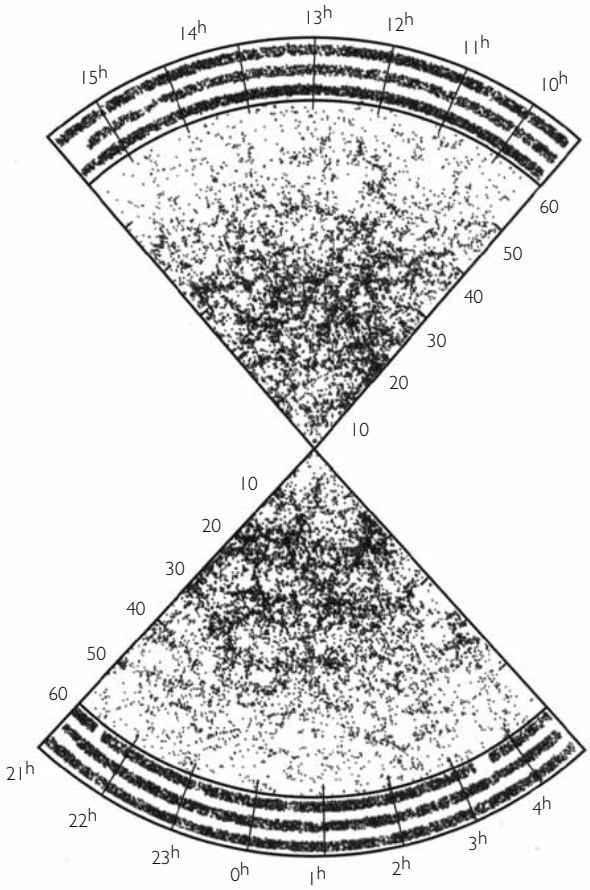
(ŞEKİL 3.1) Evrenin derinliklerine baktığımızda, milyarlarca ve milyarlarca galaksi görürüz.
Galaksilerin çeşitli şekilleri ve boyutları bulunabilir; elips veya Samanyolu'muz gibi spiral şeklinde olabilirler.



(ŞEKİL 3.2)
Gezegenimiz Dünya **(E)**, Samanyolu spiral galaksisinin dış bölgesindeki Güneş'in etrafında döner. Spiral kollarındaki yıldız tozları, galaksi düzlemindeki görüşümüzü engeller, ancak bu düzlemin her iki tarafında da net bir görüş alanımız mevcuttur.

Spiral kollarındaki toz, evreni galaksi düzleminde görmemizi engelliyor, ancak düzlemin her iki tarafında koni şeklinde net bir görüş alanımız var, üstelik uzak galaksilerin yerlerini de belirleyebiliyoruz (Şekil 3.2). Galaksilerin evren boyunca, yerel bazı yoğunlaşmalar ve boşluklarla, yaklaşık olarak eşit biçimde dağıldığını görüyoruz. Galaksilerin yoğunluğu çok uzak mesafelerde düşükmüş gibi görünüyor, ancak bunun sebebi onların ayırt edemeyeceğimiz şekilde çok uzakta ve silik olmaları. Evren, gördüğümüz kadarıyla, uzayda sonsuza dek uzanıyor (*bkz.* sayfa 80, Şekil 3.3).

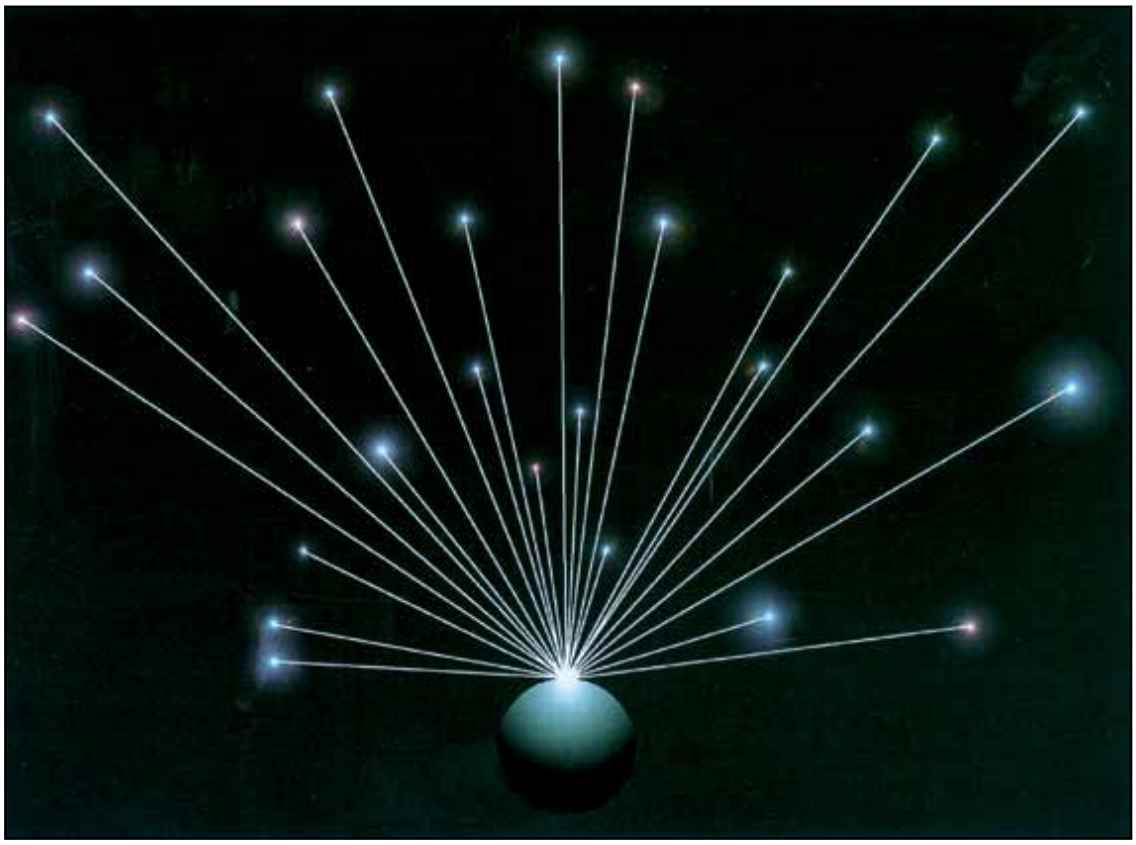
Her ne kadar evren uzaydaki her konumda oldukça aynı görünse de, zaman geçtikçe kesinlikle değişiyor. Yirminci yüzyılın ilk yıllarına kadar bu durumun farkına varılmadı. O zamana kadar, evrenin esas olarak zaman içerisinde sabit olduğu düşünülüyordu. Evren sonsuz bir süredir mevcut olabilirdi, ancak bundan anlamsız sonuçlar çıkardı. Eğer yıldızlar sonsuz bir süre boyunca ışınım yaysaydı, evreni kendi sıcaklıklarına kadar ısıtmış olurlardı.



(ŞEKİL 3.3)
Galaksilerin, yerel bazı yoğunlaşmalar dışında, evren boyunca yaklaşık olarak eşit biçimde dağıldığını görüyoruz.

Gökyüzünün tamamı, geceleri bile güneş kadar parlak olurdu, çünkü görüş alanındaki her bir hat bir yıldıza veya yıldızlar kadar sıcak oluncaya kadar ısıtılmış bir toz bulutuna ulaşacaktı (Şekil 3.4).

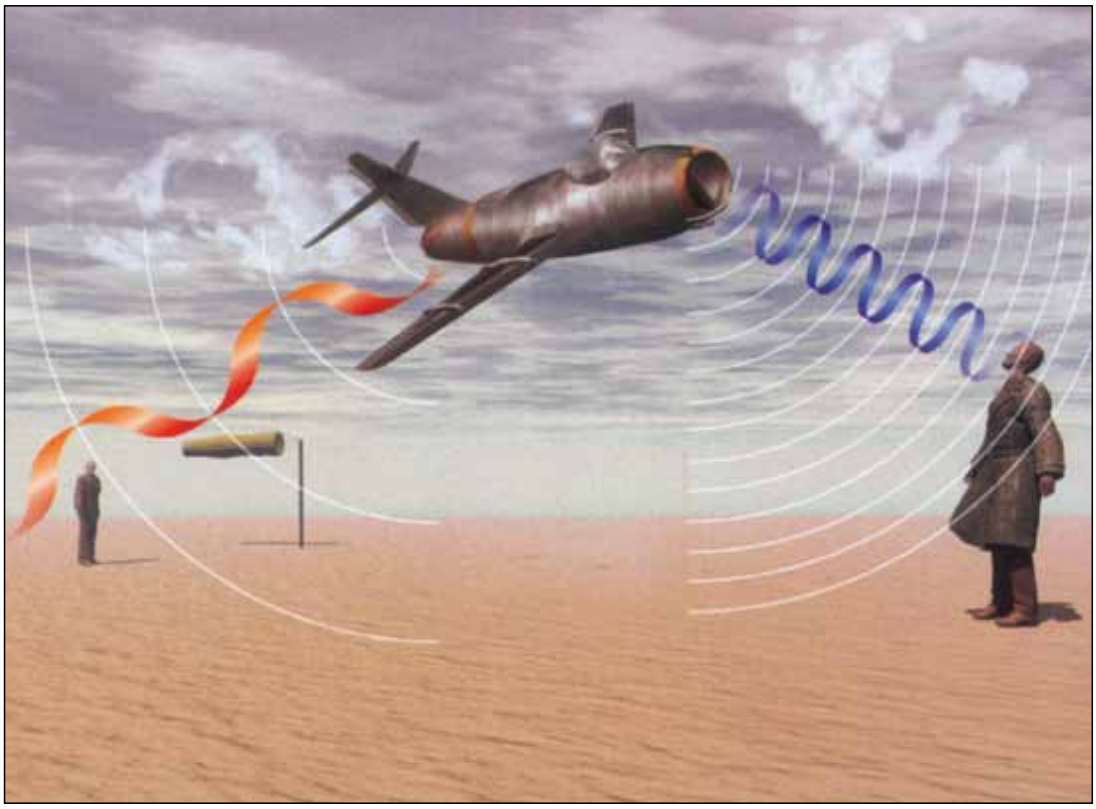
Gökyüzünün geceleri karanlık olması hakkında hepimizin yaptığı gözlem çok önemlidir. Bu durum, evrenin bugün gördüğümüz halde hep var olmadığını ima eder. Sonlu bir süre önce yıldızların ışık saçmaya başlaması için bir şeylerin olması gerekir, yani çok uzaktaki yıldızların ışığı bize ulaşmak için henüz zaman bulamamıştır. Bu durum gökyüzünün geceleri her yönde parlamamasının nedenini açıklar.



(ŞEKİL 3.4)
Eğer evren durağan ve her yönde sonsuz olsaydı, görüş alanındaki her hat bir yıldıza ulaşırdı, bu ise gökyüzünü geceleri güneş kadar parlak yapardı.

Eğer yıldızlar hep orada bulunduysa, neden birkaç milyar yıl önce birden ışık saçmaya başladılar? Onlara parlama zamanının geldiğini söyleyen saat neydi? Bu durum, daha önce de gördüğümüz üzere, Immanuel Kant gibi, evrenin hep var olduğuna inanan filozofların aklını kurcaladı. Ancak bu durum, çoğu insan için, evrenin sadece birkaç bin yıl önce, şu anki haline benzer biçimde yaratıldığı fikriyle tutarlılık gösteriyordu.

Bununla birlikte, Vesto Slipher ve Edwin Hubble tarafından yirminci yüzyılın ikinci on yılında gerçekleştirilen gözlemlerle bu fikirde ayrılıklar belirmeye başladı. Hubble 1923'te nebula adı verilen silik ışık parçalarının aslında başka galaksiler, yani güneşimiz



Doppler Etkisi

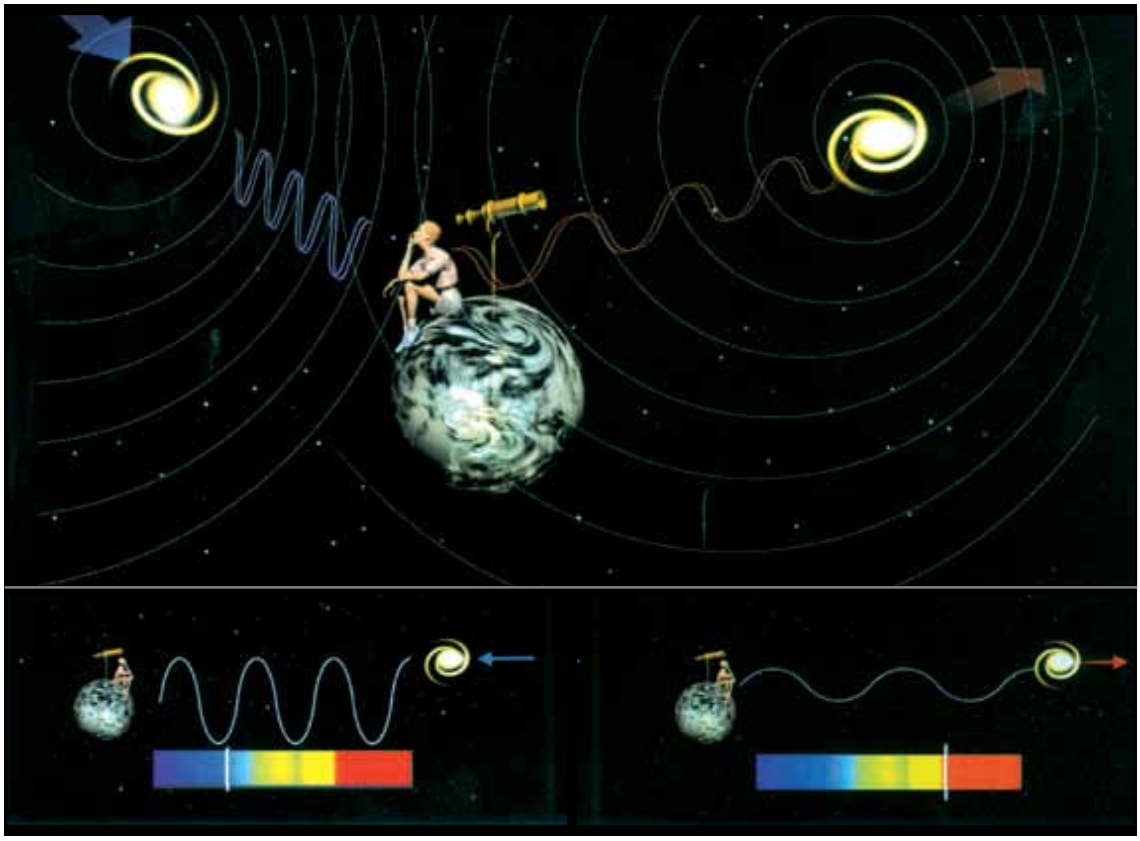
Hız ve dalga boyu arasındaki Doppler etkisi adı verilen ilişki her gün karşılaşılan bir deneyimdir.

Başınızın üstünden geçen bir uçağı dinleyin; motorunun sesi daha yüksek bir perdede işitilir ve geçip kaybolduğunda ise, daha düşük bir perdede işitilir.

Ses perdesinin daha yüksek olması, dalga boyu (bir dalga tepesi ve bir sonraki arasındaki mesafesi) daha kısa olan ve daha yüksek bir frekanstaki (saniyedeki dalga sayısına sahip) ses dalgalarına karşılık gelir.

Bunun sebebi, uçak size doğru hareket ederken, bir sonraki dalga tepesini yayınladığında, size daha yakın olması ve dalga tepeleri arasındaki mesafeyi azaltmasıdır.

Benzer şekilde, uçak uzaklaştıkça dalga boyları artar ve algıladığınız ses perdesi düşer.



gibi yıldızlardan meydana gelen ancak büyük bir mesafedeki topluluklar olduğunu keşfetti. Bu kadar küçük ve silik görünmeleri için, mesafeler o kadar büyük olmalıydı ki, onlardan gelen ışığın bize ulaşması milyonlarca, hatta milyarlarca yıl sürmeliydi. Bu, evrenin başlangıcının sadece birkaç bin yıl önce olamayacağını gösterdi.

Ancak Hubble'ın keşfettiği ikinci şey daha da dikkat çekiciydi. Astronomlar diğer galaksilerden gelen ışığı analiz ederek yakınlaştıklarını mı, yoksa uzaklaştıklarını mı ölçmenin mümkün olduğunu öğrenmişlerdi. (Şekil 3.5). Şaşırtıcı biçimde, neredeyse bütün galaksilerin uzaklaştığını bulmuşlardı. Bunun da ötesinde, ne kadar uzakta olurlarsa, o kadar hızlı uzaklaşıyorlardı. Bu keşfin önemli imalarını anlayan Hubble oldu: Her galaksi bir diğerinden büyük ölçüde uzaklaşıyordu. Evren genişliyordu (Şekil 3.6).

(ŞEKİL 3.5)
Doppler etkisi ışık dalgaları için de geçerlidir. Eğer bir galaksi Dünya'ya sabit bir uzaklıkta kalsaydı, tayftaki karakteristik çizgiler normal veya standart bir konumda görünecekti. Bununla birlikte, galaksi bizden uzaklaşıyorsa, dalgalar uzamış görünecek ve karakteristik çizgiler kırmızıya kayacaktır ***(sağda)***. Eğer galaksi bize yaklaşıyorsa, dalgalar sıkışmış gibi görünecek ve çizgiler maviye kayacaktır ***(solda).***

Hubble ve Slipher tarafından ölçümü yapılan galaktik komşumuz Andromeda.

SLIPHER VE HUBBLE TARAFINDAN 1910 İLE 1930 ARASINDA YAPILAN KEŞİFLERİN KRONOLOJİSİ

1912 Slipher dört nebuladan gelen ışığı ölçerek üçünün kırmızıya kaydığını ancak Andromeda'nın maviye kaydığını buldu. Bunu, diğer nebulalar bizden uzaklaşırken Anromeda'nın bize yaklaşması şeklinde yorumladı.

1912-1914 Slipher 12 nebulada daha ölçüm yaptı.
Biri dışında diğerleri kırmızıya kayıyordu.

1914 Slipher buluşlarını Amerikan Astronomik Topluluğu'na sundu. Hubble bu sunumu duydu.

1918 Hubble nebulaları incelemeye başladı.

1923 Hubble (Andromeda da dahil olmak üzere) nebulaların başka spiral galaksiler olduğuna işaret etti.

1914-1925 Slipher ve diğerleri Doppler kaymalarını ölçmeye devam etti. 1925'teki skor 43 kırmızıya kaymaya 2 maviye kaymaydı.

1929 Hubble ve Milton – Doppler kaymalarını ölçmeye devam ettikten ve her galaksinin bir diğerinden büyük ölçüde uzaklaştığını bulduktan sonra– evrenin genişlediğini keşfettiklerini ilan ettiler.

Evrenin genişlediğinin keşfedilmesi, yirminci yüzyılın en büyük entelektüel devrimlerinden biriydi. Tam bir sürpriz oldu ve evrenin başlangıcı konusundaki tartışmayı tamamen değiştirdi. Eğer galaksiler birbirinden uzaklaşıyorsa, geçmişte birbirine daha yakın olmalıydı. Şu anki genişleme hızından, aslında on ila on beş milyar yıl önce birbirlerine çok daha yakın olduklarını tahmin edebiliyoruz. Roger Penrose ve ben, bir önceki bölümde de açıkladığımız gibi, Einstein'ın genel görelilik kuramının, evren ve zamanın büyük bir patlamayla başlaması gerektiğini içerdiğini gösterdik. Geceleyin gökyüzünün karanlık olmasının sebebi şuydu: Hiçbir yıldız on ila on beş milyar yıldan fazla, yani Büyük Patlamadan geçen süreden beri parlayamazdı.

Edwin Hubble 1930'da 2,5 metrelik Mount Wilson teleskobunun başında.

(ŞEKİL 3.6) HUBBLE YASASI

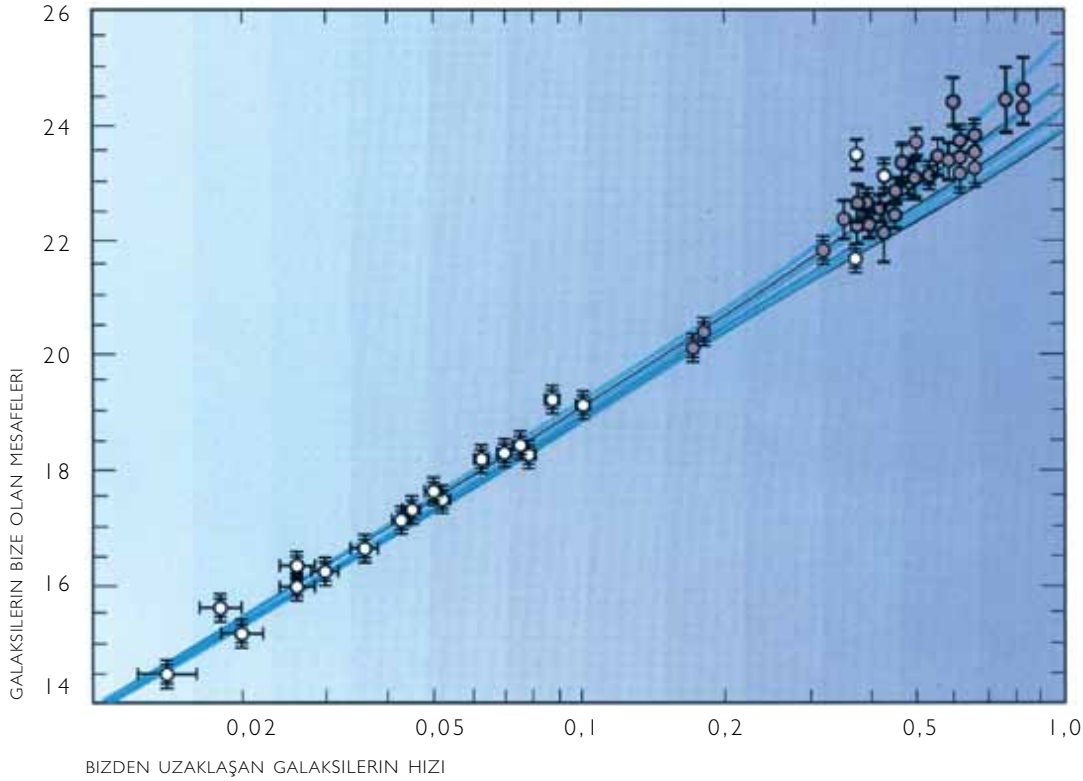
Edwin Hubble diğer galaksilerden gelen ışığı analiz ederek, neredeyse bütün galaksilerin Dünya'ya olan R mesafeleriyle orantılı bir V hızıyla bizden uzaklaştığını, yani $V = H \times R$ denklemini 1920'lerde keşfetti.

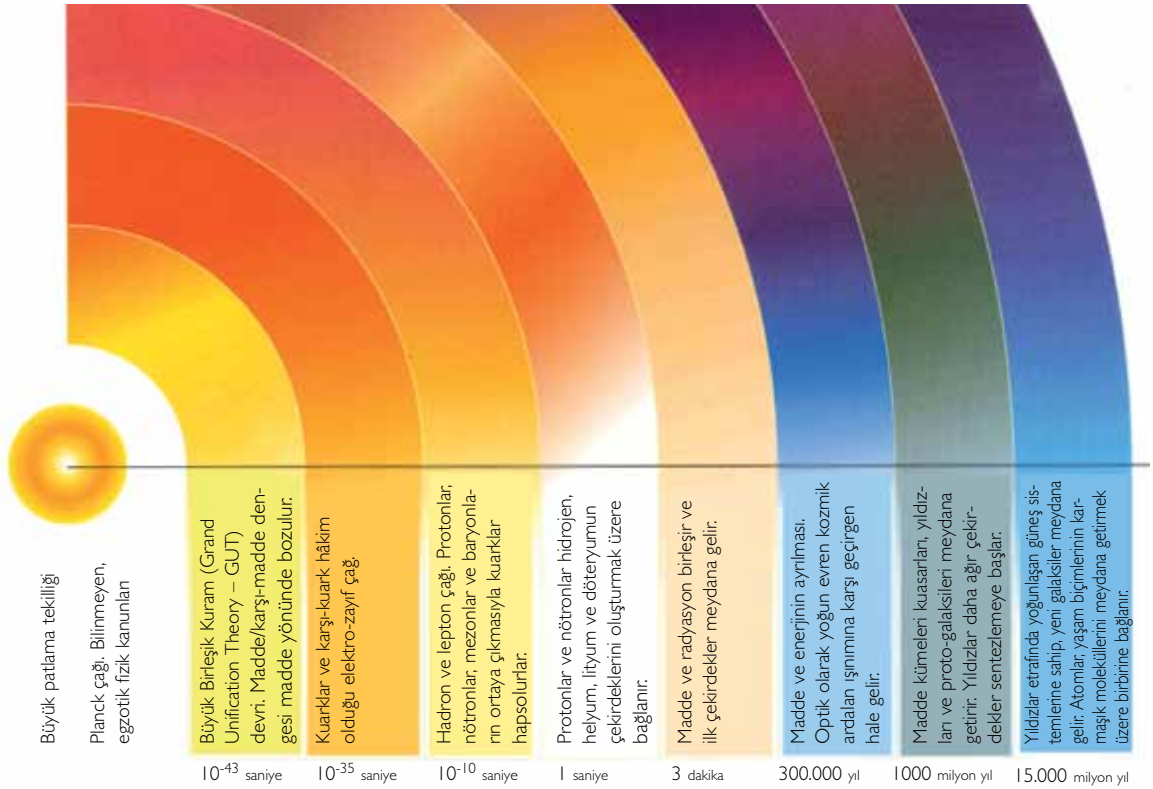
Hubble yasası olarak bilinen bu önemli gözlem evrenin genişlediğini ortaya koydu.

Hubble sabiti genişleme hızını belirler.

Aşağıdaki grafikte, Hubble yasası bizden engin uzaklıklarda da doğrulayan, galaksilerin kırmızıya kaymasıyla ilgili yakın zamanda yapılan gözlemleri görebilirsiniz.

Grafikte, büyük mesafelerde bulunan yukarı doğru hafif eğim, genişlemenin hızlandığını belirtir, buna vakum enerjisi neden olabilir.





Sıcak Büyük Patlama

Genel görelilik doğru olsaydı, evrenin başlangıcı Büyük Patlama tekilliğinde sonsuz bir sıcaklık ve yoğunlukla gerçekleşirdi. Evren genişlerken ışınımın sıcaklığı azaldı. Büyük Patlamadan saniyenin yaklaşık yüzde biri kadar sonra, sıcaklık 100 milyar derece olacak ve evren bazı protonlar ve nötronlarla birlikte çoğunlukla fotonlar, elektronlar ve nötrinolar (son derece hafif parçacıklar) ile bunların karşı-parçacıklarını içerecekti. Sonraki üç dakika boyunca, evren bir milyar dereceye soğurken, protonlar ile nötronlar helyum, hidrojen ve hafif başka elementlerin çekirdeklerini meydana getirmek üzere birleşmeye başlayacaktı.

Yüz binlerce yıl sonra, sıcaklık birkaç bin dereceye düştüğünde, elektronlar, atomları meydana getirmek üzere hafif çekirdekler tarafından yakalanabileceği bir noktaya kadar yavaşlayacaktı. Bununla birlikte, karbon ve oksijen gibi yapımızı oluşturan daha ağır elementler, yıldızların merkezindeki helyumun yanışından milyarlarca yıl sonraya kadar ortaya çıkmayacaktı.

Evrenin yoğun, sıcak, erken bir aşamasının bu tasviri, 1948'de, bilim insanı George Gamow tarafından, Ralph Alpher'la birlikte yazdıkları bir makalede ileri sürüldü. Bu makale, bu çok sıcak, erken safhadan kaynaklanan ışınımın, günümüzde hâlâ çevremizde olması gerektiğini öngörüyordu. 1965'te, Arno Penzias ve Robert Wilson adlı fizikçiler kozmik mikrodalga ardalan ışınımını gözlemlediğinde, öngörüleri doğrulandı.

Olayların daha önceki olaylardan, onların ise daha da önceki olaylardan kaynaklandığı fikrine alışkınız. Geçmişe doğru uzanan bir nedensellik zinciri mevcut. Ancak bu zincirin bir başlangıcının olduğunu varsayın. Bir ilk olayın bulunduğunu varsayın. Buna ne sebep oldu? Bu birçok bilim insanının yönelmek istediği bir soru değildi. Ruslar gibi, evrenin bir başlangıcının olmadığını iddia ederek veya evrenin başlangıcının bilim alanına girmediğini, metafiziğe veya dine ait olduğunu savunarak bu sorudan kaçmaya çalıştılar. Bence bu, gerçek bir bilim insanının takınacağı bir tavır değildir. Eğer bilim yasaları evrenin başlangıcında askıdaysa, başka zamanlarda da hatalı olamazlar mı? Bir yasa sadece bazen geçerli olursa, yasa değildir. Evrenin başlangıcını, bilimi esas alarak anlamaya çalışmalıyız. Bu bizim güçlerimizin ötesinde bir görev olabilir, ancak en azından gereken çabayı göstermeliyiz.

Penrose ve benim kanıtladığımız kuramlar, evrenin bir başlangıcı olması gerektiğini gösterse de, bu başlangıcın doğası hakkında pek bilgi sağlamıyordu. Evrenin, büyük bir patlamada, yani bütün evrenin ve içindeki her şeyin sonsuz yoğunluktaki tek bir noktada toplandığı bir yerde başladığını belirtiyordu. Einstein'ın genel görelilik kuramı bu noktada çökecekti, bu yüzden evrenin başlangıç şeklini öngörmek için kullanılamazdı. Geriye, evrenin başlangıcının görünüşte bilimin kapsamı dışında olduğu bir kuram kalır.

Bu, bilim insanlarını memnun edecek bir sonuç değildi. Genel göreliliğin, Büyük Patlama yakınında çökmesinin sebebi, Bölüm 1 ve 2'de de belirttiğimiz gibi, belirsizlik ilkesini, yani Einstein'ın, "Tanrı zar atmaz," diyerek reddettiği, kuantum kuramının rastsal öğesini kapsamamasıdır. Bununla birlikte, bütün kanıtlar, Tanrı'nın bir hayli kumarbaz olduğunu gösterir. Evreni, her olayda zarların atıldığı veya çarkların döndürüldüğü büyük bir kumarhane olarak gözünüzün önünde canlandırabilirsiniz (Şekil 3.7).

Kumarhane işletmenin çok riskli bir iş olduğunu düşünebilirsiniz, çünkü her zar atılışında veya çarkın çevrilişinde para kaybetme riskine girersiniz. Ancak çok sayıda bahis söz konusu olduğunda, belirli bir bahsin sonucu öngörülemese de, kazançlar ve kayıplar öngörülebilir bir sonuçta ortalanır (Şekil 3.8). Kumarhane işletenler bahis oranlarının kendi lehlerinde ortalanmasını garanti ederler. Bu yüzden bu kadar zengindirler. Onlara karşı kazanmak için tek şansınız, tüm paranızı birkaç zar atışına veya çark dönüşüne yatırmanızdır.

(ŞEKİL 3.7, üstte ve
ŞEKİL 3.8, karşı sayfada)
Eğer bir kumarbaz çok sayıda zar atışı için kırmızı üzerine bahse girerse, kazancı oldukça kesin bir şekilde öngörülebilir, çünkü atılan zarların sonuçları ortalanır. Buna karşın, belirli bir bahsin sonucunu öngörmek olanaksızdır.

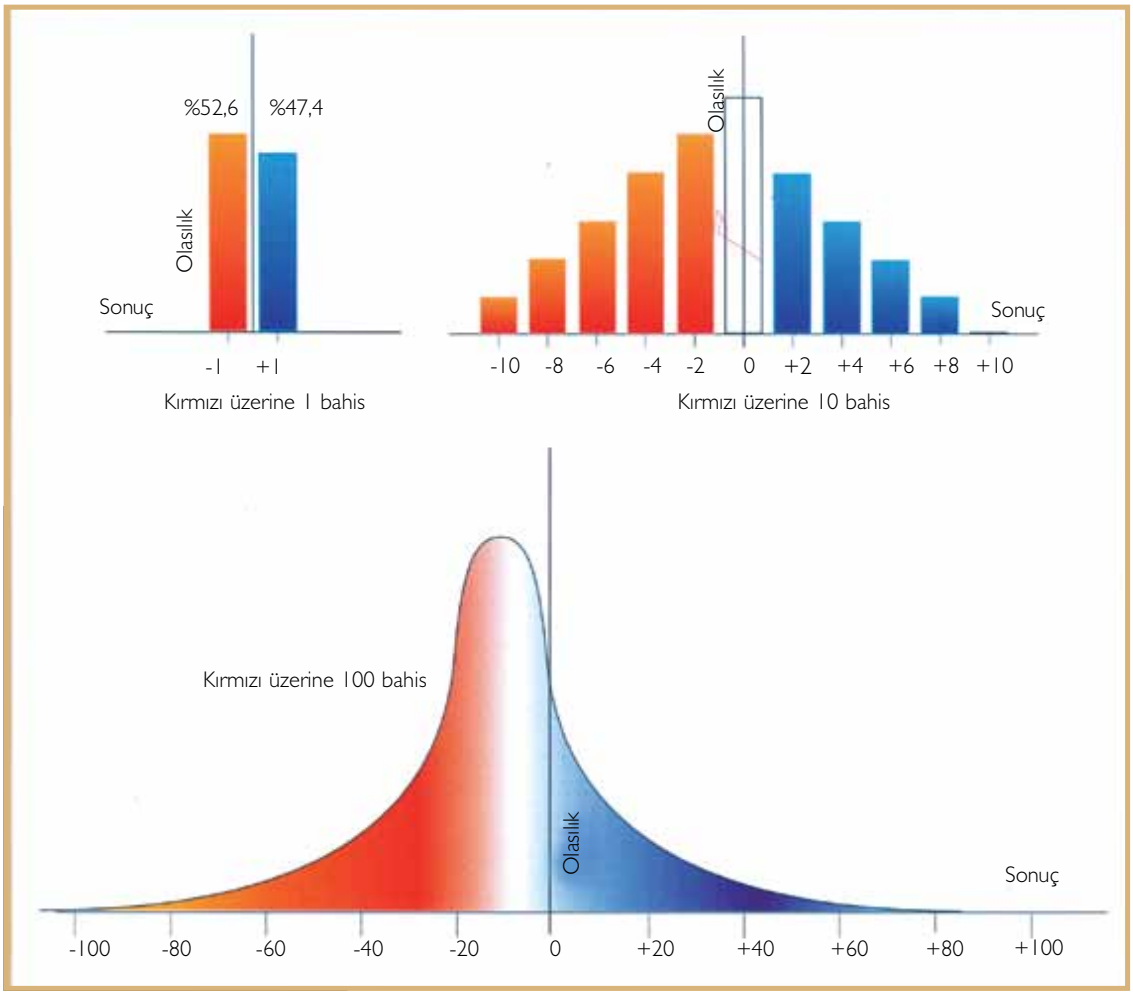
Evren için de aynısı geçerlidir. Evren, günümüzdeki gibi büyükse, çok sayıda zar atışı söz konusu olur ve sonuçlar öngörülebilecek bir değerde ortalanır. Bu yüzden klasik yasalar büyük sistemlerde geçerlidir. Ancak evren, Büyük Patlamaya yakın bir zamandaki gibi küçükse, zar atışlarının sayısı azalır ve belirsizlik ilkesi büyük bir önem kazanır.

Evren, sandığınız gibi, sadece tek bir geçmişe sahip değildir, çünkü bir dahaki sefere olacakları belirlemek için zar atmaya devam eder. Evren, her birinin kendi olasılığı bulunan, olanaklı her geçmişe sahip olmalıdır. Evrenin, olasılığı çok düşük olsa da, Belize'ın Olimpiyat Oyunları'nda her altın madalyayı kazandığı bir geçmişi bulunmalıdır.

Evrenin birden fazla geçmişinin bulunması fikri, insana bilimkurgu gibi gelebilir, ancak artık bilimsel bir gerçek olarak kabul ediliyor. Bu fikir, hem büyük bir fizikçi hem de oldukça şakacı bir kişi olan Richard Feynman tarafından formülleştirildi.

Şimdi Einstein'ın genel görelilik kuramı ile Feynman'ın birden fazla geçmiş fikrini, evrende gerçekleşen her şeyi tanımlayacak, tamamen birleşik bir kuramda bir araya getirmeye çalışıyoruz. Eğer geçmişlerin nasıl başladığını bilirsek, söz konusu birleşik kuram, evrenin nasıl gelişeceğini hesaplamamızı sağlayacak. Ancak birleşik kuram, evrenin nasıl başladığını veya ilk durumunun ne olduğunu bize kendi içinde söylemeyecek. Bunun için, sınır koşullarına, yani uzayın ve zamanın kenarları olan evrenin sınırlarında gerçekleşenleri gösteren kurallara ihtiyacımız var.

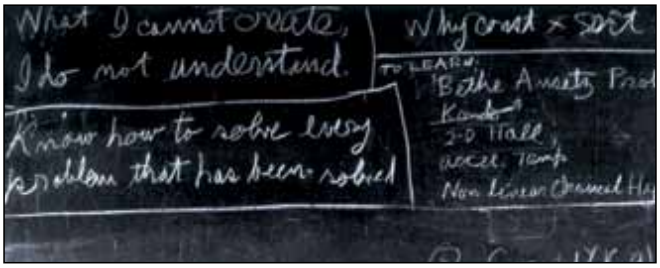
Eğer evrenin sınırı, uzay ve zamanın normal bir noktasında bulunsaydı, onun ilerisine gidip ötesindeki bölgenin evrenin bir parçası olduğunu iddia edebilirdik.


%52,6
%47,4
Olasılık
Sonuç
-1
+1
Kırmızı üzerine 1 bahis
Olasılık
Sonuç
-10 -8 -6 -4 -2 0 +2 +4 +6 +8 +10
Kırmızı üzerine 10 bahis
Kırmızı üzerine 100 bahis
Olasılık
Sonuç
-100 -80 -60 -40 -20 0 +20 +40 +60 +80 +100

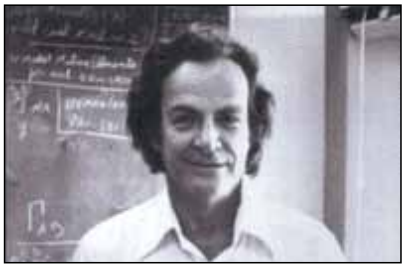
Eğer evrenin sınırı uzayzamanın sadece bir noktası olsaydı, sınırları genişletmeye devam edebilirdik.

Buna karşın, evrenin sınırı, uzay ile zamanın büzüldüğü ve sonsuz yoğunlukta tırtıklı bir kenar olsaydı, anlamlı sınır koşulları tanımlamak çok güçleşecekti.

Bununla birlikte, Jim Hartle adlı bir meslektaşım ve ben üçüncü bir olasılığın bulunduğunu fark ettik. Evrenin uzay ve zamanda belki de hiç sınırı yoktur. Bu, ilk bakışta evrenin bir başlangıcının, zamanda bir sınırının olması gerektiğini gösteren, Penrose ve benim bulduğumuz kuramların inkârı gibi görünür. Bununla birlikte, Bölüm 2'de de açıkladığımız gibi, sürdüğünü hissettiğimiz gerçek zamanla dik açı yapan, sanal zaman adı verilen ikinci bir zaman mevcuttur. Evrenin gerçek zamandaki geçmişi, sanal zamandaki geçmişleri ve gerçek zamandaki geçmişi de, sanal



Feynman'ın 1988'deki ölümü zamanında Caltech'teki karatahta.



Richard Feynman

Feynman Öyküleri

Brooklyn, New York'ta, 1918'de doğan Richard Feynman, doktorasını 1942'de Princeton Üniversitesi'nde, John Wheeler gözetiminde tamamladı. Hemen sonrasında ise Manhattan Projesi'ne katıldı. Burada, canlı kişiliği ve şakalarıyla –Los Alamos laboratuarlarındayken, çok gizli evrakların bulunduğu kasaların şifresini çözmekten zevk alırdı– ve sıradışı bir fizikçi olarak tanındı: atom bombası kuramına katılımda bulunan, temel kişilerden biri haline geldi. Feynman'ın dünya hakkındaki ebedi merakı varlığının kaynağıydı. Bu sadece bilimsel başarısını tetiklemekle kalmadı, aynı zamanda onu, Maya hiyerogliflerini çözmek gibi, şaşırtıcı başarılara da götürdü.

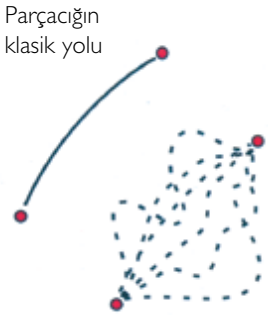
Feynman, II. Dünya Savaşı'nı izleyen yıllarda, kuantum mekaniği hakkında etkili, yeni bir düşünce biçimi buldu, bunun için 1965'te Nobel Ödülü aldı. Her bir parçacığın belirli, tek bir tarihi olması varsayımına karşı çıktı. Bunun yerine, parçacıkların uzayzamanda olası her yol boyunca, bir konumdan diğerine ilerlediği önerisini getirdi. Feynman, her bir yörüngeyle, biri dalganın boyutu –genliği– ve biri de fazı –çukurda veya tepede bulunması– olmak üzere, iki sayıyı ilişkilendirdi. A'dan B'ye giden bir parçacığın olasılığı, A ve B'den geçen olası her yolla ilgili dalgaların toplanmasıyla bulunuyordu.

Yine de nesneler gündelik dünyada başlangıçları ile nihai hedefleri arasında tek bir yol izliyormuş gibi görünür. Bu durum Feynman'ın birden fazla geçmiş (veya geçmişlerin toplamı) fikriyle uyum gösterir, çünkü her bir yola sayılar atama kuralı, büyük nesneler için yolların katılımları birleştirildiğinde, biri hariç bütün yolların birbirini etkisizleştirmesini garanti eder. Sonsuz yollardan sadece biri, makroskopik nesnelerin hareketi göz önüne alındığı sürece önemlidir ve bu yörünge de Newton'un klasik hareket yasalarından ortaya çıkandır.

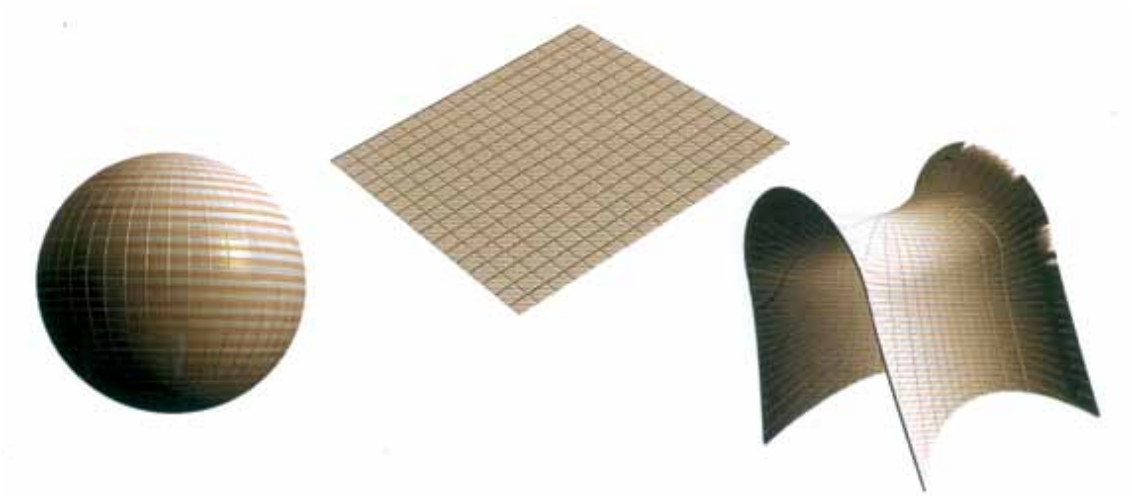
zamandaki geçmişleri belirler, ancak bu iki geçmiş türü çok farklı olabilir.

Evrenin sanal zamanda özellikle hiçbir başlangıcı veya sonu olması gerekmez. Sanal zaman tıpkı uzaydaki başka bir yön gibi davranır. Bu şekilde, evrenin sanal zamandaki tarihleri bir top, düzlem veya semer şeklinde, ancak iki yerine dört boyuta sahip, eğri yüzeyler olarak düşünülebilir (*bkz.* sayfa 92, Şekil 3.9).

Evrenin geçmişleri, sonsuzluğa bir semer veya düzlem şeklinde uzansaydı, sonsuzluktaki sınır koşullarının belirlenmesi problemi ortaya çıkacaktı. Ancak evrenin sanal zamandaki



Bir parçacık, Feynman'ın yol toplamındaki olası her yolu izler.



(ŞEKİL 3.9) EVRENİN GEÇMİŞLERİ

Evrenin geçmişleri, sonsuzluğa bir semer şeklinde uzansaydı, sonsuzluktaki sınır koşullarının belirlenmesi problemi ortaya çıkacaktı. Eğer evrenin sanal zamandaki bütün geçmişleri, Dünya'nınki gibi, kapalı yüzeyler olursa, sınır koşullarının belirlenmesine gerek kalmaz.

EVRİM YASALARI VE BAŞLANGIÇ KOŞULLARI

Fizik yasaları bir ilk durumun zaman içindeki değişme şeklini belirler. Örnek olarak, kütleçekimi yasaları, havaya attığımız bir taşın sonraki hareketini tam olarak belirleyecektir.

Ancak taşın düşeceği yeri sadece bu yasalardan öngöremeyiz. Bunun için, elimizden ayrılışı sırasındaki hızını ve yönünü bilmemiz gerekir. Başka bir deyişle, taşın hareketinin başlangıç koşullarını –sınır koşullarını– bilmemiz gerekir.

Kozmoloji, bu fizik yasalarını kullanarak, evrenin tamamının evrimini tanımlamaya çaba gösterir. Bu yüzden, bu yasaları uygulamamız gereken, evrenin başlangıç koşullarını araştırmalıyız.

İlk durum, evrenin temel özelliklerini, hatta belki de biyolojik yaşamın gelişimi için öneme sahip, temel parçacıkları bile derinden etkilemiş olabilir.

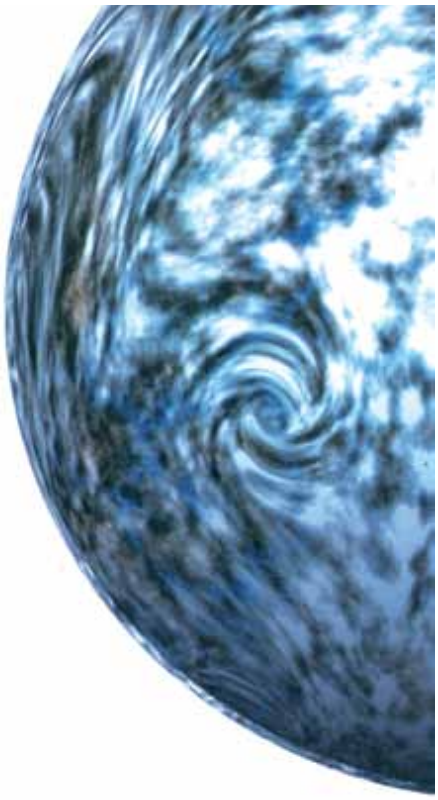
Bir öneri sınırsızlık koşuludur, bu önerideki zaman ve uzay, tıpkı Dünya yüzeyinin boyut açısından sonsuz olması ancak bir sınıra sahip olmaması gibi, sonludur ve sınırsız, kapalı bir yüzey meydana getirir. Sınırsızlık önerisi, Feynman'ın birden fazla geçmiş fikrine dayanır, ancak Feynman'ın toplamındaki bir parçacığın geçmişinin yerini artık evrenin tamamının geçmişini temsil eden bütün bir uzayzaman almıştır. Sınırın bulunmadığı koşul, tam olarak, evrenin olası geçmişlerinin, sanal zamanda sınırı bulunmayan uzayzamanlarla kısıtlanmasıdır. Başka bir deyişle, evrenin sınır koşulu sınıra sahip olmamasıdır.

Kozmologlar günümüzde, belki de zayıf antropik tezlerle de birlikte sınırsızlık önerisi tarafından desteklenen ilk yapılandırmaların, gözlemlediğimize benzer bir evrene doğru gelişim gösterme olasılığının bulunup bulunmadığını araştırıyor.

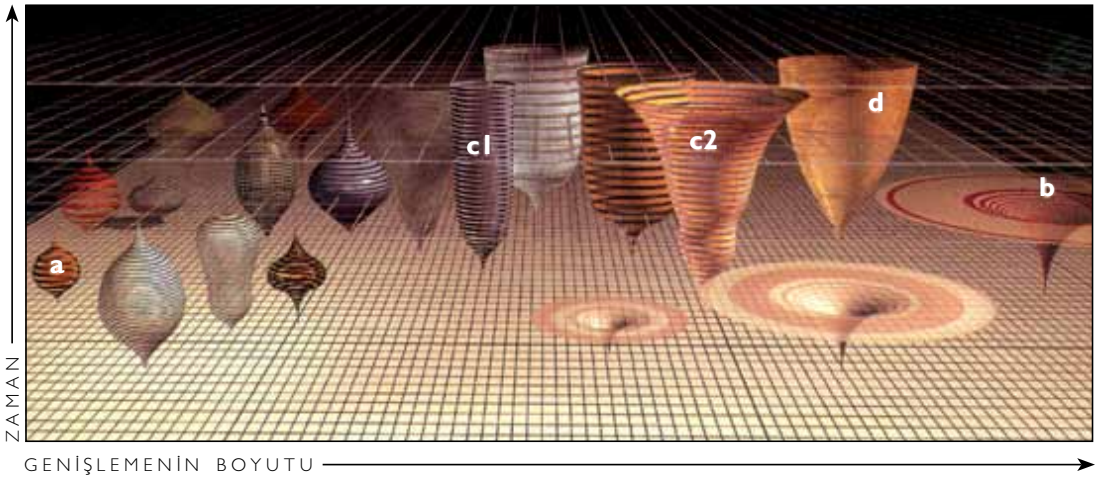
bütün geçmişleri Dünya'nın yüzeyi gibi kapalı yüzeyler olursa, sınır koşullarının belirlenmesi zorunluluğundan kaçınılabilir. Dünya'nın yüzeyi hiçbir sınır veya kenara sahip değildir. Aşağı düşen insanlarla ilgili güvenilir hiçbir rapor yoktur.

Eğer evrenin sanal zamandaki geçmişleri, Hartle ve benim önerdiğimiz gibi, aslında kapalı yüzeylerse, bunun felsefe ve geldiğimiz yerin tasviri için önemli imaları olacaktır. Evren tamamen bağımsız olacaktır; dışarıdan hiçbir şeyin saat düzeneğini kurmasına ve çalıştırmasına ihtiyaç duymayacaktır. Bunun yerine, evrendeki her şey bilim yasaları ve evren içerisindeki zar atışlarıyla belirlenecektir. Bu size küstahça gelebilir, ancak ben ve diğer birçok bilim insanı buna inanıyoruz.

Her ne kadar evrenin sınır koşulu, sınırının bulunmaması olsa da, sadece tek bir geçmişi bulunmayacaktır. Feynman'ın da öne sürüldüğü gibi, birden fazla geçmişe sahip olacaktır. Sanal zamanda olası, kapalı her yüzeye karşılık gelen bir geçmiş bulunacak ve sanal zamandaki her geçmiş, gerçek zamandaki bir geçmişi belirleyecektir. Böylece evren için birçok olasılık elde ederiz. Olası tüm evrenler arasından içinde yaşadığımız özel evreni seçen nedir? Gözümüze çarpan bir husus var ki, evrenin olası geçmişlerinden çoğu, gelişimimiz için şart olan, galaksilerin ve yıldızların meydana gelme zincirinden geçmeyecektir. Akıllı varlıklar, galaksiler ve yıldızlar olmadan evrim geçirebilse de, bu pek olası değildir. Böylece "Evren niye bu şekilde?" sorusunu sorabilen varlıklar olarak mevcudiyetimiz, içinde



Dünya yüzeyinin hiçbir sınırı veya kenarı yoktur. Aşağı düşen insanlarla ilgili raporların abartı olduğu düşünülür.



Antropik İlke

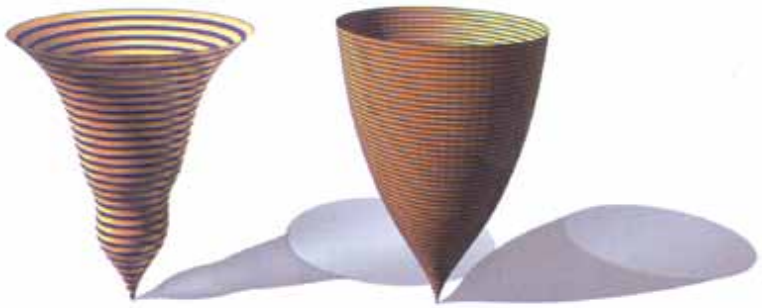
Antropik ilke, yaklaşık olarak şöyle der: Evreni, varlığımızdan dolayı, en azından kısmen, olduğu gibi görürüz. Bu bakış açısı, doğa yasalarının tam olduğu ve aksinin imkânsızlığı nedeniyle dünyanın bu şekilde bulunduğu, tümüyle öngörülebilen, birleşik bir kuram düşüne tamamen karşı çıkar. Antropik ilkenin önemsiz olacak kadar zayıflardan saçma olacak kadar güçlülerine kadar değişen çeşitli yorumları mevcuttur. Her ne kadar bilim insanlarının çoğu, antropik ilkenin güçlü bir yorumunu benimsemek için isteksiz olsa da, çok az kişi antropik bazı zayıf önerilerin faydasına karşı çıkacaktır.

Zayıf antropik ilke, evrenin, içinde yaşamış olabileceğimiz, olası çeşitli çağları veya kısımlarının bir açıklamasına karşılık gelir. Örnek olarak, Büyük Patlama on milyar yıl önce meydana gelmiştir, çünkü evren öyle yaşlı olmalıdır ki, bazı yıldızlar bizi oluşturan karbon ve oksijen gibi elementleri üretmek üzere evrimlerini tamamlayabilsin, üstelik öyle genç olmalıdır ki, bazı yıldızlar yaşama güç vermek için hâlâ enerji sağlayabilsin.

Sınırsızlık önerisinin yapısı içerisinde, evrenin gerçekleşmesi olası özelliklerini bulmak için, Feynman'ın, evrenin her bir geçmişine sayılar atanması kuralı kullanılabilir. Antropik ilke, bu kapsamda geçmişlerin zeki yaşam içermesini zorunlu kılar. Evren için farklı ilk yapılanmalardan birkaçının gözlemlediğimiz gibi bir evren meydana getirmek üzere gelişebildiği gösterebilirsek, antropik ilke bizi memnun eder. Yani evrenin içinde yaşadığımız kısmının ilk halinin, büyük bir dikkatle seçilmiş olması gerekmez.

(ŞEKİL 3.10, karşı sayfada)
Resmin en solunda kendi üzerlerine çökerek kapanan evrenler **(a)** bulunuyor. En sağda ise sonsuza dek genişlemeye devam edecek açık evrenler **(b)** bulunuyor.

Kendi üzerlerine çökmek ile **(c1)** gibi veya **(c2)**'nin çift şişme [enflasyon] gibi genişlemeye devam etmek arasında dengelenen söz konusu kritik evrenler, zeki yaşam biçimlerine yer verebilir. Bizim evrenimiz **(d)** ise şimdilik genişlemeye devam ediyor.



Çift şişme [enflasyon] zeki yaşama yer verebilir.

Bizim evrenimizin şişmesi şimdilik devam ediyor.

yaşadığımız geçmişin bir kısıtlamasıdır. Bu, onun galaksilere ve yıldızlara sahip, çok az geçmişten biri olduğunu ima eder. Bu durum, antropik ilkenin bir örneğidir. Antropik ilke, evrenin aşağı yukarı, gördüğümüz gibi olması gerektiğini söyler, çünkü başka türlü olsaydı, burada onu gözlemleyecek kimse bulunmayacaktı (Şekil 3.10). Birçok bilim insanı antropik ilkeyi sevmez, çünkü belirsiz ve öngörme yetisine pek sahip değilmiş gibi görünür. Ancak antropik ilke için kesin bir formülasyon sağlanabilir, üstelik bu, evrenin başlangıcı üzerinde çalışılırken oldukça önemli gözükür. Bölüm 2'de açıkladığımız M kuramı, evren için çok sayıda olası geçmişe imkân tanır. Bu geçmişlerin çoğu zeki bir yaşamın gelişimi için uygun değildir; ya boştur, fazlasıyla kısa ömürleri vardır, fazlasıyla bükülmüştür ya da başka bir açıdan yanlıştır. Yine de bir yaşam içermeyen bu geçmişlerin, Richard Feynman'ın birden fazla geçmiş fikrine göre, oldukça yüksek bir olasılığı bulunabilir (*bkz.* sayfa 92).

Zeki varlıklar içeren geçmişlerin sayısı aslında gerçekten de fark etmez. Biz sadece içinde zeki yaşamın geliştiği geçmiş altkümeleriyle ilgileniyoruz. Bu zeki yaşamın insana benzemesi

gerekmez. Küçük yeşil uzaylılar da işimizi görür. Aslında daha da iyi olabilirler. Zira insan soyunun zekice davranış açısından çok iyi bir sicili yok.

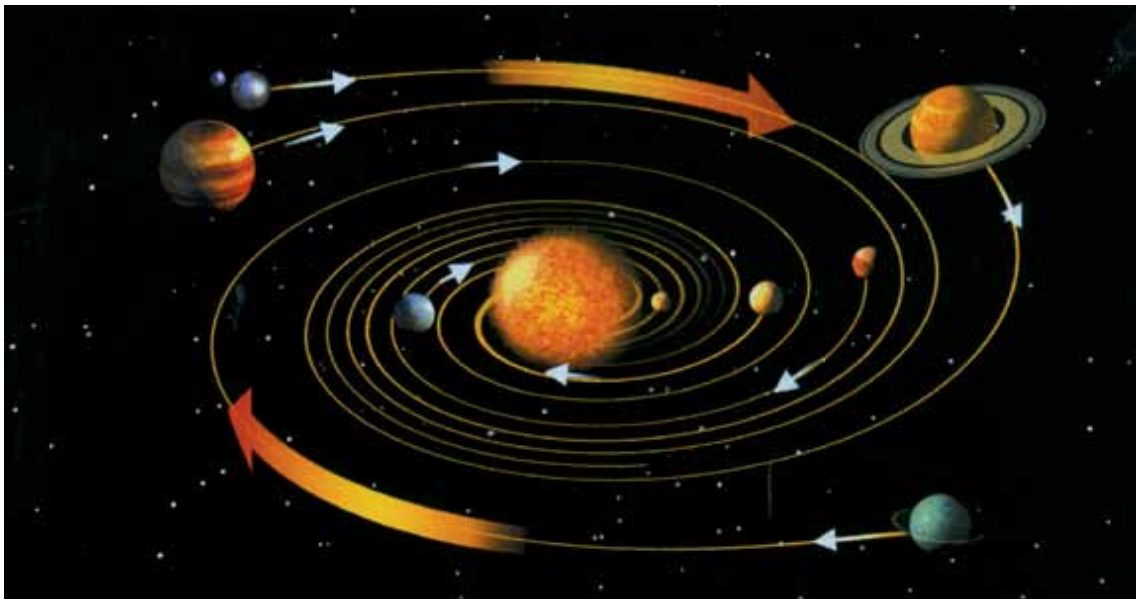
Antropik ilkenin etkisine bir örnek olarak, uzaydaki yönlerin sayısını düşünün. Üçboyutlu bir evrende yaşadığımızı deneyimlerimizden biliyoruz. Yani uzaydaki bir noktanın konumunu üç sayıyla, örnek olarak enlem, boylam ve deniz seviyesinden yükseklikle gösterebiliriz. Peki ama uzay niye üç-boyutlu? Neden bilimkurguda olduğu gibi iki, dört veya başka sayıda boyuta sahip değil? Uzay, M kuramında, dokuz veya on boyuta sahiptir, ancak altı veya yedi yönün kıvrılıp küçülerek geriye büyük ve yaklaşık düz olan üç boyut bıraktığı düşünülür.

(ŞEKİL 3.11)

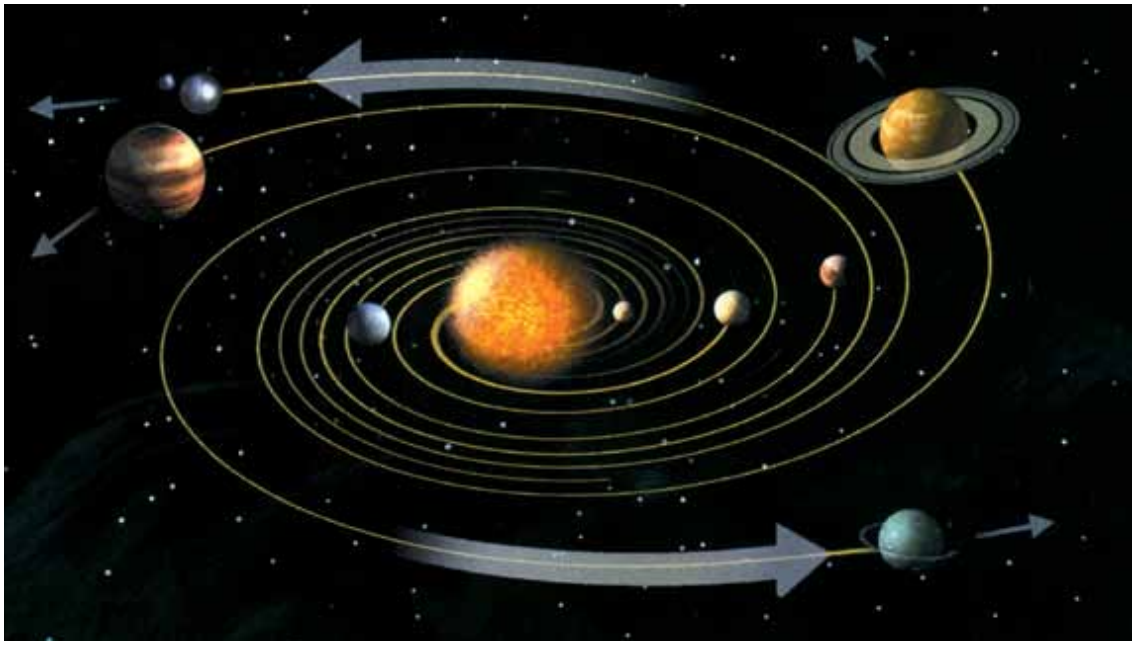
Bir pipet belli bir mesafeden tek boyutlu bir çizgi gibi görünür.

Neden boyutlarının sekizinin kıvrılıp küçülerek geriye fark ettiğimiz sadece iki boyut bıraktığı bir geçmişte yaşamıyoruz? İkiboyutlu bir hayvan yiyeceğini hazmederken oldukça zorlanacaktı. İçinden geçen bir bağırsağı olsaydı, hayvanı ikiye bölecek ve zavallı yaratık parçalarına ayrılacaktı. Bu yüzden, düz iki yön, zeki bir yaşam biçimi kadar karmaşık hiçbir şey için yeterli değildir. Buna karşın, yaklaşık düz dört yön olsaydı, iki cisim arasındaki kütleçekim kuvveti, cisimler birbirine yaklaştıkça, daha hızlı arta-

ŞEKİL 3.12A



ŞEKİL 3.12B



Sanal zaman geçmişi

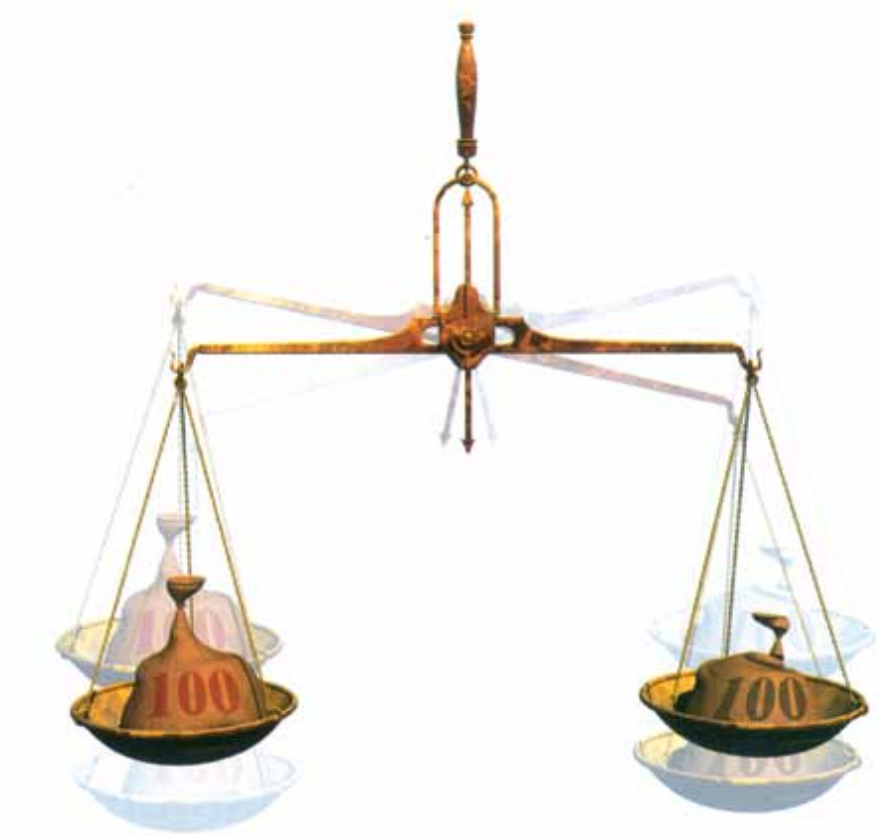
Gerçek zaman geçmişi

(ŞEKİL 3.13)
Sınırı olmayan en basit sanal zaman geçmişi bir küredir.
Bu, gerçek zamanda şişerek genişleyen bir geçmiş belirler.

caktı. Yani gezegenlerin, güneşleri etrafında kararlı bir yörüngeleri olmayacaktır. Ya güneşin üzerine düşerler (Şekil 3.12A) ya da dıştaki karanlık ve soğuğa kaçarlar (Şekil 3.12B)

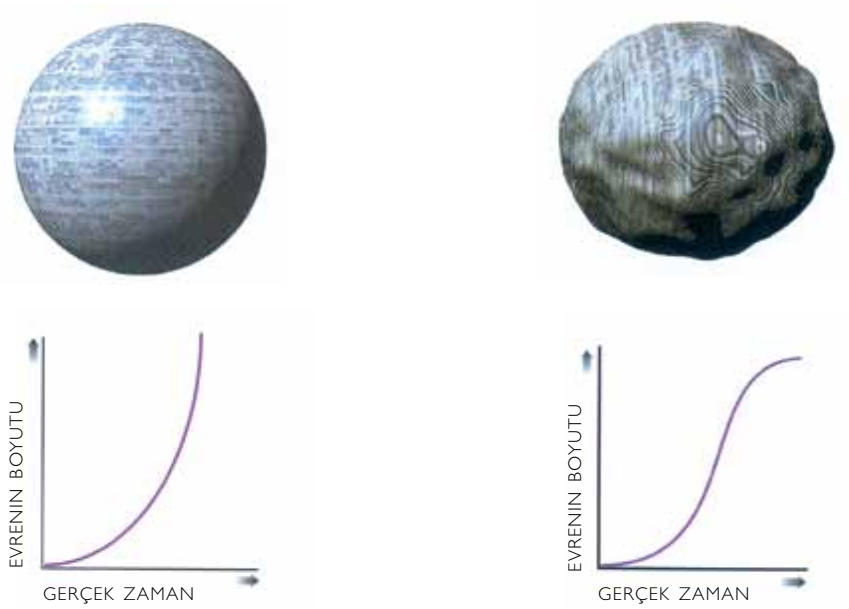
Benzer şekilde, atomlardaki elektronların yörüngeleri de kararlı olmayacaktı, böylece bizim bildiğimiz madde var olmayacaktı. Böylece her ne kadar birden fazla geçmiş fikri, yaklaşık olarak düz, her sayıda yöne imkân tanısa da, sadece üç tane düz yöne sahip geçmişler zeki varlıklar içerecektir. Sadece böyle geçmişlerde "Neden uzayın üç boyutu var?" sorusu sorulacaktır.

Evrenin sanal zamandaki en basit geçmişi, Dünya'nın yüzeyi gibi olan, ancak iki boyuta daha sahip, yuvarlak bir küredir (Şekil 3.13). Bu, gördüğümüz evrenin gerçek zamandaki bir geçmişini belirler, evren bu geçmişte uzayın her noktasında aynıdır ve



ŞEKİL 3.14 MADDE ENERJİSİ KÜTLEÇEKİM ENERJİSİ

zamanla genişler. Bu yönden, içinde yaşadığımız evrene benzer. Ancak genişleme hızı çok yüksektir ve hızlanmaya da devam eder. Bu şekilde ivmelenen genişlemeye şişme (enflasyon) denir, çünkü fiyatların sürekli yükselen bir hızda artmasına benzer. Fiyatlardaki şişmeye genellikle kötü gözle bakılır, ancak evren söz konusu olduğunda, şişme faydalıdır. Büyük enflasyon miktarları, evrenin erken zamanlarında bulunabilecek öbekleri ve çıkıntıları düzleştirir. Evren genişledikçe, daha fazla madde yaratmak için, kütleçekim alanından enerji ödünç alır. Pozitif madde enerjisi, negatif kütleçekim enerjisi tarafından tamamen dengelenir, böylece toplam enerji sıfır olur. Evrenin boyutu iki katına çıktığında, hem madde hem de kütleçekim enerjisi iki katına çıkar, böylece sıfırın iki katı yine sıfır olur. Keşke bankacılık da bu kadar basit olsaydı (Şekil 3.14).



(ŞEKİL 3.15) ENFLASYONLU EVREN

Büyük Patlama modelinde, evrenin erken zamanlarında, ısının bir bölgeden diğerine akması için yeterli süre yoktu. Yine de hangi yöne bakarsak bakalım, mikrodalga ardalan ışınımı sıcaklığının aynı olduğunu gözlemleriz. Bu, evrenin ilk durumunun, her yerde aynı sıcaklığa sahip olması gerektiği anlamına gelir.

Farklı birçok ilk yapının şu anki evrene benzer biçimde evrim geçirebileceği bir model bulmak için evrenin ilk zamanlarının çok hızlı bir genişlemeden geçmiş olabileceği öne sürüldü. Bu genişlemenin enflasyonlu olduğu, yani günümüzde gözlemlediğimiz, azalan genişleme hızı yerine, sürekli artan bir hızda gerçekleştiği söylendi. Böyle enflasyonlu bir safha, evrenin her yönden aynı görünmesinin sebebini açıklayabilir, çünkü evrenin ilk zamanlarında ışığın bir bölgeden diğerine ilerlemesi için yeterli süre bulunacaktır.

Bir evrenin, hep enflasyonlu bir şekilde genişleyen, sanal zamandaki geçmişine, kusursuz yuvarlak bir küre karşılık gelir. Ancak kendi evrenimizdeki enflasyonlu genişleme, saniyenin bir kesrinden sonra yavaşladı ve galaksiler meydana gelebildi. Yani, evrenimizin sanal zamandaki geçmişi, hafifçe düz bir güney kutbuna sahip bir küredir.

TOPTANCI FIYAT ENDEKSİ—ENFLASYON VE HIPERENFLASYON

Haziran 1914	1,0
Ocak 1919	2,6
Haziran 1919	3,4
Ocak 1920	12,6
Ocak 1921	14,4
Haziran 1921	14,3
Ocak 1922	**36,7**
Haziran 1922	**100,6**
Ocak 1923	**2.785,0**
Haziran 1923	**194.000,0**
Kasım 1923	**726.000.000.000,0**

1914'te bir Alman Markı

1923'te on bin mark

1923'te iki milyon mark

1923'te on milyon mark

1923'te bir milyar mark

Eğer evrenin sanal zamandaki geçmişi kusursuz yuvarlak bir küre olsaydı, gerçek zamanda ona karşılık gelen geçmiş, sonsuza dek şişerek genişleyen bir evren olurdu. Evren şişerek büyürken, madde galaksileri ve yıldızları meydana getirmek üzere birleşemezdi ve bırakın bizim gibi bir yaşam biçimini, yaşam gelişemezdi. Böylece her ne kadar evrenin sanal zamandaki kusursuz yuvarlak küreler olan geçmişlerine birden fazla geçmiş fikriyle imkân verilse de, pek ilgi alanımıza girmez. Bununla birlikte, sanal zamandaki, kürelerin güney kutbunda hafifçe düz olduğu geçmişler çok daha belirgindir (Şekil 3.15).

Gerçek zamanda karşılık gelen geçmiş bu durumda ilk başta ivmeli, şişerek genişleyecektir. Ancak genişleme daha sonra yavaşlamaya başlayacak ve galaksiler meydana gelebilecektir. Zeki yaşam biçiminin gelişebilmesi için güney kutbundaki düzlüğün çok hafif olması gerekir. Yani evren ilk olarak büyük bir miktarda genişleye-

(ŞEKİL 3.16)
ENFLASYON BİR DOĞA KANUNU OLABİLİR

Almanya'daki enflasyon barıştan sonra arttı, fiyat seviyesi Şubat 1920'ye kadar 1918'dekinin beş katına yükseldi. Haziran 1922'den sonra hiperenflasyon safhası başladı. Paraya duyulan tüm güven kayboldu ve fiyat endeksi daha da hızlı yükselerek paranın değer kaybedişi kadar hızlı para üretemeyen matbaaların hızını bastırdı. 1923'ün sonlarına doğru, 300 kâğıt fabrikası son hızda çalışıyordu ve 150 basımevinin gece gündüz çalışarak tedavüle para çıkaran 2000 matbaası vardı.

a b c

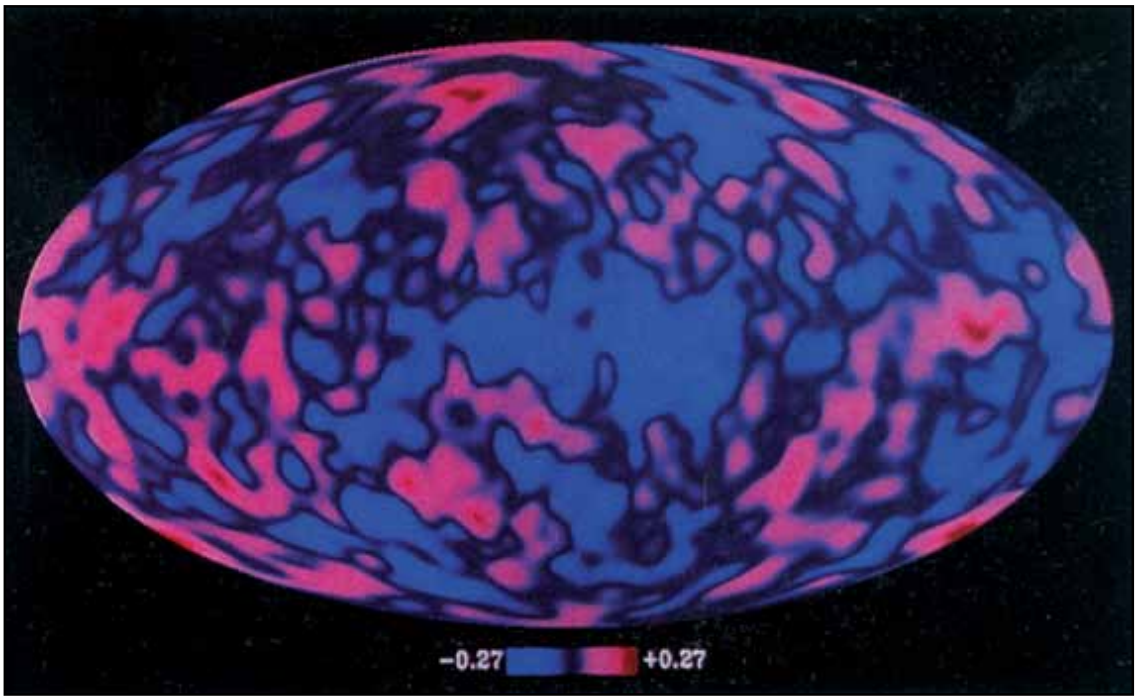
(ŞEKİL 3.17)
OLASI VE OLANAKSIZ GEÇMİŞLER

(a) benzeri düzgün geçmişler en olasıdır, ancak sadece az sayıda mevcuttur.

Her ne kadar hafifçe çarpık **(b)** ve **(c)** geçmişlerinin her biri daha az olası olsa da, o kadar çok sayıdadır ki evrenin olası geçmişleri düzgünlükten küçük sapmalar yapacaktır.

cektir. Parasal enflasyonun rekor düzeyi Almanya'da iki dünya savaşı arasında, fiyatlar milyar kere milyar defa arttığında gerçekleşti, ancak evrende gerçekleşmiş olması gereken şişme bunun en azından milyar kere milyar kere milyar katıdır (Şekil 3.16).

Belirsizlik ilkesi nedeniyle, evrenin zeki yaşam içeren sadece bir geçmişi olmayacaktır. Bunun yerine, sanal zamandaki geçmişler, hafifçe deforme olmuş bir küre ailesi olacaktır, bu kürelerin her biri evrenin uzun bir süre, ancak belirsiz olmayan bir şekilde şiştiği gerçek zamandaki bir geçmişe karşılık gelir. Bu durumda olanak tanınan bu geçmişlerin hangisinin en olası olduğunu sorabiliriz. En olası geçmişlerin tamamen düz olmadığı ve küçük girinti ve çıkıntılarının bulunduğu ortaya çıkar (Şekil 3.17). En olası geçmişler üzerindeki dalgalanmalar gerçekten de çok küçüktür. Düzlükten sapmalar yüz bin parçanın birinde görülür. Yine de son derece küçük olsalar da, onları uzayda farklı yönlerden gelen mikrodalgalardaki ufak değişiklikler şeklinde gözlemlemeyi başardık. Cosmic Background Explorer (Kozmik Ardalan



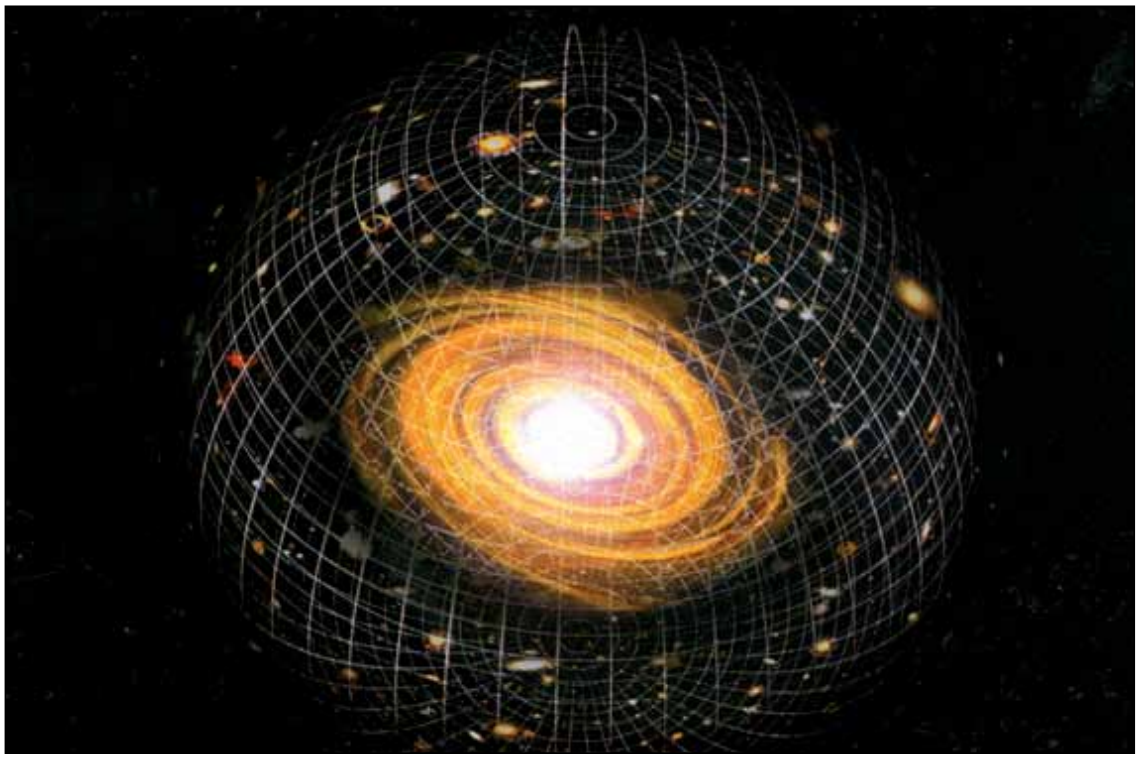
COBE uydusu DMR aracıyla yapılan gökyüzünün tam haritası zamandaki kırışıklıklar için bir kanıt sunuyor.

Kâşifi) uydusu 1989'da fırlatıldı ve gökyüzünün mikrodalga haritasını çıkardı.

Farklı renkler farklı sıcaklıkları belirtir, ancak kırmızı ile mavi arasındaki bütün fark, sadece bir derecenin yaklaşık binde biridir.

Bu yine de daha yoğun bölgelerdeki fazladan kütleçekimin, bölgelerin neticede genişlemesini engellemesi ve galaksi ile yıldızları meydana getirmek üzere, kendi kütleçekimlerinin altında tekrar çökmelerini sağlaması için evrenin erken zamanlarının farklı bölgeleri arasında yeterli çeşitlilik oluşturur. Böylece COBE haritası, en azından ilkesel olarak, evrendeki bütün yapıların planıdır.

Evrenin, zeki varlıkların belirmesi için uygun, en olası geçmişlerinin gelecekteki davranışı nasıl olacaktır? Evrendeki madde miktarına bağlı olan çeşitli olasılıklar varmış gibi görünür. Eğer belirli, kritik bir miktardan fazlası mevcutsa, galaksiler arasındaki kütleçekim, onları yavaşlatacak ve nihayet birbirlerinden uzaklaşıp gitmelerine engelleyecektir. Bunun ardından, birbirlerine doğru düşmeye başlayacak ve evrenin gerçek zamandaki sonu olacak,



(ŞEKİL 3.18, yukarıda)
Evrenin olası sonlarından biri, bütün maddelerin engin, yıkıcı bir kütleçekim kuyusuna emileceği Büyük Çöküştür.

(ŞEKİL 3.19, karşı sayfada)
Her şeyin durduğu ve son yıldızların yakıtlarını tüketerek söndüğü uzun, soğuk inilti.

büyük bir çöküşle bir yerde toplanacaklardır (*bkz.* sayfa 104, Şekil 3.18).

Eğer evrenin yoğunluğu kritik değerin altındaysa, kütleçekim, galaksilerin birbirinden uzaklaşıp gitmesini sonsuza dek engellemek için fazla zayıf olur.

Bütün yıldızlar sönecek ve evren artan bir biçimde boşalacak ve soğuyacak. Böylece her şeyin yine sonu gelecek, ama daha az dramatik bir şekilde. Evren, her iki şekilde de, birkaç milyar yıl daha varlığını sürdürecek (Şekil 3.19).

Evren madde içerdiği gibi "boşluk enerjisi" ["vakum enerjisi"], yani boş görünen bir uzayda bile mevcut olan enerjiyi de içerebilir. Einstein'ın ünlü $E = mc^2$ formülüne göre, bu boşluk enerjisinin kütlesi vardır. Ancak boşluk enerjisinin etkisi, açık bir şekilde, maddeninkinin tersidir. Madde, genişlemeyi yavaşlatır ve nihayet

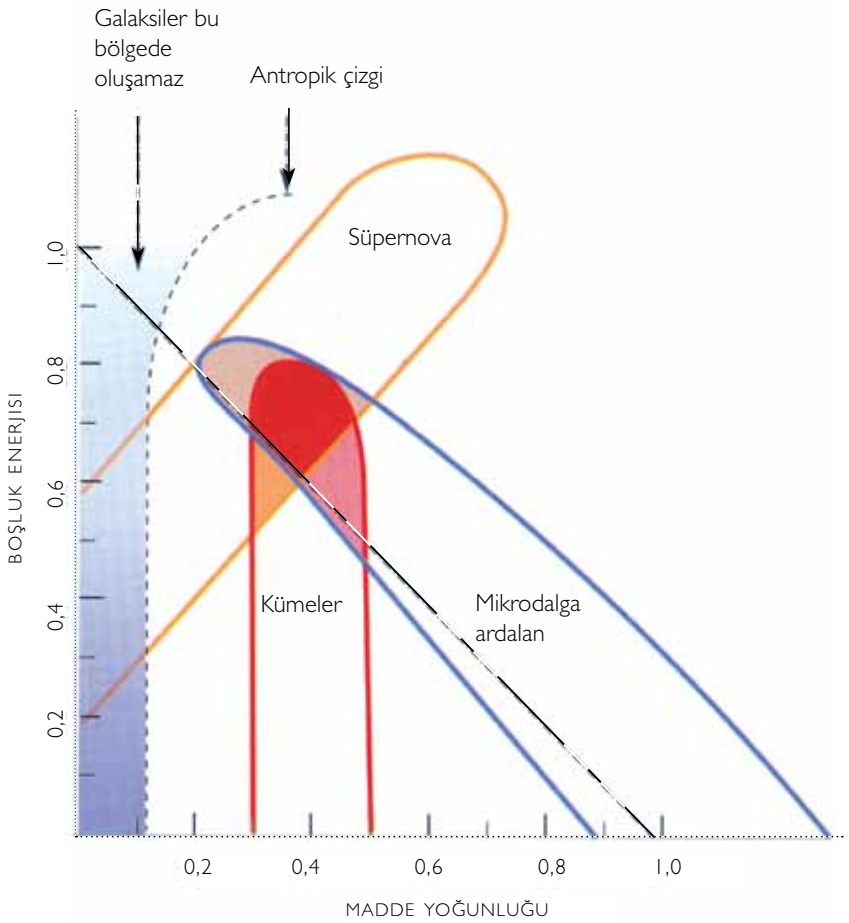
onu durdurabilir veya tersine çevirebilir. Buna karşın, boşluk enerjisi, şişmede olduğu gibi, genişlemenin ivme kazanmasına neden olur. Boşluk enerjisi aslında, Einstein'ın durağan bir evreni temsil eden bir çözüm vermediklerini fark ettiğinde, 1917'de orijinal denklemlerine eklediği, Bölüm 1'de bahsettiğimiz kozmolojik sabit gibi davranır.

Hubble'ın evrenin genişlediğini keşfetmesinin ardından, söz konusu denklemlere bir terim ekleme güdüsü ortadan kalktı ve Einstein da kozmolojik sabiti bir hata olarak reddetti.

Bununla birlikte, bu sabit hiç de hata olmayabilirdi. Bölüm 2'de açıkladığımız gibi, kuantum kuramının, uzayzamanın kuantum titreşimleriyle dolu olduğunu içerdiğini fark ediyoruz. Bu taban durumu titreşimlerinin sonsuz, pozitif ve negatif enerjileri, süpersimetrik bir kuramda, farklı spinlere sahip parçacıklar arasında birbirini etkisizleş-

KOZMOLOJİK SABİT BENİM EN BÜYÜK HATAMDI!

Albert Einstein



(ŞEKİL 3.20)
Evrendeki boşluk enerjisi ve madde yoğunluğu, uzak süpernovalardan, kozmik mikrodalga ardalan ışınımından ve maddenin evrendeki dağılımından elde edilen gözlemlerle, oldukça iyi bir şekilde tahmin edilebilir.

tirir. Ancak pozitif ve negatif enerjilerin küçük, sonlu miktarda bir boşluk enerjisi kalmayacak kadar etkisizleşmesini beklemeyiz, çünkü evren süpersimetrik bir durumda değildir. İnsanı hayrete düşüren tek şey, boşluk enerjisinin kısa bir süre önce fark edilmeyecek kadar sıfıra yakın olmasıdır. Bu, antropik ilkenin belki de başka bir örneğidir. Daha büyük bir boşluk enerjisine sahip bir geçmiş, galaksiler meydana getirmeyecek, böylece "Boşluk enerjisi neden gözlemlediğimiz değerde?" sorusunu sorabilecek varlıklar içermeyecektir.

Evrendeki madde ve boşluk enerjisi miktarlarını çeşitli gözlemlerle belirlemeye çalışabiliriz. Sonuçları, madde yoğunluğunun düşey yönde ve boşluk enerjisinin yatay yönde bulunduğu bir şemada gösterelim. Noktalı çizgi zeki yaşamın gelişebileceği bölgenin sınırını gösterir (Şekil 3.20).

"Bir ceviz kabuğuna
hapis olabilirdim ve kendimi
sonsuz uzayın bir kralı sayabilirdim."

—Shakespeare,
Hamlet, 2. Perde, Sahne 2

Süpernovalar, kümelenmeler ve mikrodalga ardalanda yapılan gözlemlerin her biri, bu şemadaki bölgeleri belirler. Neyse ki, üç bölgenin de ortak bir kesişme noktası vardır. Madde yoğunluğunun ve boşluk enerjisinin bu kesişimde kalması, evrenin genişlemesinin uzun bir yavaşlama döneminin ardından, tekrar hızlanmaya başladığı anlamına gelir. Enflasyon bir doğa yasası olabilir.

Bu bölümde engin evrenin davranışının sanal zamandaki küçük, hafifçe düzleşmiş bir küre olan geçmişi cinsinden nasıl anlaşılabileceğini gördük. Bu küre Hamlet'in ceviz kabuğuna benzer, ama bu ceviz gerçek zamanda gerçekleşen her şeyi kodlar. Demek ki Hamlet oldukça haklıydı. Bir ceviz kabuğuna hapis olabilir ve hâlâ kendimizi sonsuz uzayın kralı sayabilirdik.