


# FİZİK

Zamanda Seyahat Edebilir Miyiz ?  
ve Diğer Büyük Sorular

**Michael Brooks**



VERSUS 

# FİZİK

## BÜYÜK SORULAR

Zamanda Seyahat Edebilir Miyiz ?

ve diğer büyük sorular

# Michael Brooks

**Dizi Editörü: Simon Blackburn**



Büyük Sorular 2  
Bilim - Felsefe  
Büyük Sorular / Fizik  
Michael Brooks  
Özgün Künye  
The Big Questions / Physics

© Quercus, 2010

VERSUS KİTAP

© Her hakkı mahfuzdur.

Çeviri: Ebru Kılıç

Kapak İllüstrasyonu: Sedat Girgin

Grafik Tasarım: Cemile Öz

VERSUS KİTAP

Albay Faik Sözdener Sk.

Benson İş Merkezi No:21/2

Kadıköy / İstanbul 34710

Tel: 0 216 418 27 02 (pbx) Faks: 0 216 414 34 42

[www.versuskitap.com](http://www.versuskitap.com)

[versuskitap@versuskitap.com](mailto:versuskitap@versuskitap.com)

# Giriş

Fiziğin güzelliği basit bir gerçeğe özetlenebilir: Bir çocuk hiçbir profesörün cevaplayamayacağı sorular sorabilir. Gerçekten de fizikte “büyük sorular” aramak samanlıkta saman aramaya benzer biraz. Öyle görünmektedir ki iş fiziğe geldiğinde küçük soru diye bir şey yoktur. Görünürde önemsiz bir soru ya da deney genellikle kökleri derinlere inen bir kavrayışı beraberinde getirir.

Örneğin fizik yasaları değişebilir mi değişemez mi acaba diye sormaktan çıkıp bir yaratıcıya yer olup olmadığını merak etmeye başlamak için küçük bir adım yeter. Sorular orada da durmaz. Fizik bize yaratıcının ille de ilahi olması gerekmediğini söyler; her biri, en büyük yaratısından biraz daha akıllı olan bir tür tarafından yaratılmış sonsuz sayıda evren içinde yaşıyor olabiliriz. Hatta kendi evrenimizin yaratıcısı olmaya yazgılı bile olabiliriz.

Çağımızın ikon haline gelmiş en büyük bilim insanlarının, parmaklarının ucunda böyle büyük meseleler duruyorken fiziğe gömülmüş olmaları o kadar da şaşırtıcı değildir. Albert Einstein, görelilik kuramının evren kavrayışımızı değiştirmesiyle birlikte neredeyse bir gecede ünlü olmuştur. Carl Sagan’ın *Cosmos* adlı televizyon programı, televizyonlarda hâlâ en fazla izlenen program olmayı sürdürmektedir. Richard Feynman’ın Challenger uzay mekiği felaketinin gerisindeki fiziği açıklaması, bir konu hakkında işlenen bilginin ne kadar güçlü olabileceğini göstermiştir. Stephen Hawking’in çok satan kitabı *A Brief History of Time*’da (Zamanın Kısa Tarihi) ortaya serdiği çalışma, bilimleri bir kez olsun aklından geçirmemiş insanlarda bile bir bilimsel kavrayış açlığı uyandırmıştır. Bu devlerin yanında yalnızca DNA’yı keşfedenler tek başlarına durabilir.

Stephen Hawking’in çok satan kitabı *A Brief History of Time*’da (Zamanın Kısa Tarihi) ortaya serdiği çalışma, bilimleri bir kez olsun aklından geçirmemiş insanlarda bile bir bilimsel kavrayış açlığı uyandırmıştır. Bu devlerin yanında yalnızca DNA’yı keşfedenler tek başlarına durabilir.

Yine de insanların fizikten ürküp geri çekilme eğiliminde olduğu söylenebilir. Laf arasında fizikçi olduğumu, fizik eğitimi aldığımı söyleyecek olsam bu açıklama tuhaf bir hayranlık ve utanç karışımıyla karşılanıyor. Evreni anlama girişimi karşısında hayret ve huşu ifade etseler de görüldüğü kadarıyla birçok kişi kendilerinin tamamen bu konuya uzak olduğunu düşünüyor. “Ah,” diyorlar, “fizikten hiç anlamam.”

Bu ifadede siz de kendinizi görüyorsanız bu kitap bakış açınızı muhtemelen değiştirecektir. Belki de fiziğin en iyi saklanmış sırrı, insanın anlayabileceğinden daha fazlasını içeriyor olmasıdır. Fakat bu bir sorun değildir; fiziğin cazibesinin kaynağı budur.

Fiziğin keşfedeceği o kadar fazla şey vardır ki hayal gücünüzü bir kere sardığında, kendinizi ondan ayırmanız zordur. Duvardaki saat, zamanın ele geçmez doğasından dem vuran bir çimdik haline gelir. Gün ışığı, parçacıkların nükleer füzyon olarak bilinen güzel, incelikli dansının bir sonucudur. Yağmur damlaları yere düştüğünde kendinize sadece “Neden?” diye sorabilirsiniz. Cevabı araştırmaya koyulmanız, uzun süren bir fırtına boyunca meşgul olmanıza yol açacaktır. Bir günebakanın büyümesi enerjisinin nasıl korunduğunu, ışığın doğasının Dünya’daki hayatı nasıl şekillendirdiğini anlatır. Bir adım daha atıp ışığın ne olduğunu sorun, doğanın en büyük gizemi olarak değerlendirilen şeye bakıyor olursunuz.

Elinizdeki kitap, basit soruların nasıl olup da insanlığın gerçekleştirdiği en derin bazı keşiflere yol

açtığını göstermek için kaleme alınmıştır. Bu basit sorular muhtemelen okulda öğrenmediğiniz bir fiziği kapsamaktadır: konunun asıl vurguladığı noktaları, açılımlarını, evrenden ne anladığımızı, ne anlamadığımızı. Carl Sagan bir keresinde “Bir yerlerde, inanılmaz bir şey öğrenilmeyi bekliyor,” demişti. Umuyoruz ki bu süreç buradan başlayabilir.

# FİZİĞİN AMACI NEDİR?

*İmkânsız sorular, beklenmedik ödüller ve sonu hiç gelmeyen anlama çabası*

*Her yerde sınıfların duvarlarında yıllardır yankılanan bir sorudur bu. Verilen cevap genellikle, efsanevi Yunan filozof Arşimet'i ve Kral Hieron'un tacını konu alan, sonradan uydurulmuş bir hikâyeye başlar*

Hieron Sicilya'nın Siraküza kentinde tahta çıkar. Bir zanaatkâra bir miktar altın verip bundan bir taç yapmasını ister; taç geldiğinde, zanaatkârın altının bir kısmı yerine gümüş koyduğu yolunda söylentiler çıkar. Hieron yirmili yaşlarının başındaki Arşimet'i hakikati bulmakla görevlendirir.

Romalı yazar Marcus Vitruvius Pollio'nun anlattığı kadarıyla bu hikâyeye göre, Arşimet, küvette bedeninin kaldırdığı suyun hacmini fark ettiğinde problemi nasıl çözeceğini anlar. Gümüş altın kadar yoğun olmadığından, daha çok su taşıracaktır: Arşimet taçla aynı ağırlıktaki altın ve gümüş külçeleri suya daldırarak bir dizi deney gerçekleştirir; derdi her birinin ne kadar su taşırdığını görmektir. Bu deneyler sayesinde taçta gümüş olup olmadığını söyleyecektir. Arşimet bu yüzden çılgınca bir neşe içinde çırılçıplak sokağa fırlar, "Evreka!" diye bağırıyordu: "Buldum!"

Fiziğin amacı bu mudur? Görünürde cevaplanamaz olan soruları cevaplamak mıdır? Bugün artık çevremize olağanüstü geniş ölçeklerle bakabiliyoruz. Bir zamanlar görünür maddenin bölünemez olduğunu düşünürdük; daha küçük parçacıklara, atoma indik; sonra en temel parçacıklara doğru indik, nihayetinde maddenin aslında boş uzayın enerjisindeki dalgalanmalardan oluştuğu yönündeki kavrayışa kadar geldik (bkz. *Katılar Gerçekten Katı mıdır?*). Bir zamanlar hayallerimizin sınırı gökyüzüydü; şimdi evrenin çok engin olduğunu, o kadar ki ışığın evreni aşmasının yaklaşık 28 milyar yıl alacağını biliyoruz (bkz. *Ben Eşsiz miyim?*). Unutmayalım ki ışığın tanımlı, sabit bir hızı olduğu kavrayışı da fiziğin zorluklarla kazandığı zaferlerden biridir (bkz. *Zaman İçinde Yolculuk Yapabilir miyiz?*).

<>

“Dünyaya nasıl görüneceğim bilmiyorum.



Ama kendimi yalnızca deniz kenarında oynayan;

kocaman hakikat okyanusu keşfedilmeyi

beklercesine önünde uzanırken, şurada daha

düzgün bir çakıl, burada olağandan daha güzel bir

kabuk bulmakla oyalanan bir çocuğa benzetiyorum.”

**ISAAC NEWTON**



Evrenin tarihinin büyük bölümünü biliyoruz; maddenin doğasına, gezegenimizin yapısına dair çok şey biliyoruz; fakat belki de aldığımız en büyük ders, doğayı anladığımızı düşündüğümüz her seferinde doğanın bizi tekrar şaşırtması, aslında ne kadar az bildiğimizi ortaya dökmesi olmuştur. Herhalde bunu en iyi biçimde ifade eden Isaac Newton olmuştur; hatıralarında “Dünyaya nasıl görüneceğim bilmiyorum,” diyordu, “Ama kendimi yalnızca deniz kenarında oynayan; kocaman hakikat okyanusu keşfedilmeyi beklercesine önünde uzanırken, şurada daha düzgün bir çakıl, burada olağandan daha güzel bir kabuk bulmakla oyalanan bir çocuğa benzetiyorum.”

## Batıl İnanca Bir Alternatif

Fiziğin elde ettiği başarılarla ilgili olarak, Newton’ın çoğu kişiden daha az takdir ettiği bir yön varsa, o da konunun mistisizmi, batıl inancı kesip geçebilmesiydi. Newton büyük bir simyacı ve kutsal kitap âlimiydi; Eski Ahit’in Daniel Kitabı hakkındaki yazılarını en büyük eseri olarak görüyordu. Fizik manevi meselelere şüpheyle yaklaşma tehdidinde bulunduğu zaman, Newton korkuyla sinerdi. Astronomların din karşısındaki eleştirilerine sürekli “Ben bu meseleleri inceledim, siz incelemediniz,” diyerek cevap verirdi. Newton, “saat gibi işleyen göklerin” mekanizmasında Tanrı’nın eline bir yer ayırmıştı; fakat fiziğin ilerlemesi kısa süre içinde ilahi elin yerini aldı. İmparator Napolyon, Pierre-Simon Laplace’ı semavi mekanizma hakkında yeni yayınladığı denemesi hakkında sorguladığında, bu mekanizmada Tanrı’nın bulunmuyor oluşuna dikkat çekmişti. Laplace onu “Bu hipoteze hiç ihtiyacım yok,” diyerek cevaplamıştı. Fiziğin amacı, birçok bakımdan, evrende neyin bir dizi kanunla açıklanabilir olduğunu bulmaktır; bu kanunlar ne kadar basit olurlarsa o kadar iyidirler.

Yaklaşık olarak MÖ 600’e dek, medeniyetler teknolojiler geliştirmişler; ama dünyayı nasıl anlamlandıracaklarını pek düşünmemişlerdir: Bu peygamberlerin ve filozofların işi olmuştur. Sonra sahneye Miletliler çıkmıştır. Bugünkü Türkiye’nin batı sahillerinde bulunan Milet kenti, bugünkü bilim insanlarının, hakiki, ilk elden bir anlama arayışına duyulan susuzluk olarak görüp kabul edebileceği bir düşünce biçimine ev sahipliği yapıyordu. Miletliler evrenin sırlarını mistik dini kaygılarla gölgelemek yerine, doğadaki fenomenleri açıklayacak kanunlar aramışlar; başka şeylerin yanı sıra depremlerin, şimşegın nedenlerine ve evrenin yapısına dair kuramlar geliştirmişlerdi.

Miletliler bu kuramları açıkça tartışıyor, nasıl sınanabileceklerini değerlendiriyor, deneylerin sonuçlarını hakikat hakkındaki son söz olarak kabul ediyorlardı. Miletli Anaksimenes dünyanın ilk bilimsel deneyini gerçekleştirmiş olmasıyla tanınır. Verilen nefesin ısısının, dudakların büzölmüş ya da iyice açılmış olmasına bağlı olarak değişiyormuş gibi görüldüğü şeklindeki gözlemi, onu sıkışmanın soğumaya, genişlemenin ısınmaya yol açtığı sonucuna götürmüştü.

Anaksimenes’in kesinlikle yanılıyor olduğı gerçeğı, fiziğin amacı açısından başka bir derse işaret etmektedir. Bize “kabul edilen bilgelik” kapsamına giren hiçbir şeyden emin olamayacağımızı öğretir. Evrenin işleyişiyle ilgili olarak kabul edilmiş kuramların, hatta “gerçeklerin” hatalı olduğı kanıtlanmış, bunların yerini yeni fikirler almıştır. Bunlar da yanlış olduklarının gösterilmesine açıktır. Fizik her şeyin, özellikle de doğru olmasını en fazla istediğimiz şeylerin test edildiğı bir süreçtir.

Bu yüzdendir ki fizik “bilimsel azizlerden” biraz yoksundur. Deneysel kanıtların toplanması yoluyla

varılan bir fikir birliği disiplini olduğu kadar, bir fikirler disiplini değildir. Deneylerin

sonuçlarını kabul edemeyenlere –ve başkalarının neden çitin öbür yanında, kendilerinin durduğu “yanlış” yerde durup onlara katılması gerektiğini sağlam gerekçelerle açıklayamayanlara– bir itiraf ve tövbe fırsatı tanınabilir.

### Parçaların Toplamından Fazlası

Fizikçi Albert Einstein ile Richard Feynman, fiziğin fizikçilerden nasıl daha büyük olduğunu gösteren güzel örneklerdir. Einstein bugün halk tarafından bir ikon olarak baş tacı edilse de öldüğünde diğer fizikçilerin kahramanı değildi. Tam tersine, hayatının sonraki dönemlerinde, nihai arayışı dikkate alınarak bir parça pişmanlıkla anılıyordu. Einstein en bilinen çalışmasını, kariyerinin ilk aşamalarında ortaya koymuştu. Fotonu, yani enerjinin kuantumunu deneysel olarak keşfederek kuantum kuramına yeni ufuklar açan bir katkıda bulunmuştu (bkz. *Işık Nedir?*).

---

### TOPLUMUN İŞLEYİŞİNİN DAYANDIĞI KANUNLARIN ORTAYA KONMASI

*Amerikan Anayasası'nın kaleme alınmasında önemli bir rol oynayan, George Washington'ın ilk altı Yüce Divan yargıçısı arasında yer alan James Wilson fizikle ilgili fikirleri çok ciddiye alırdı. Lectures on Law (Hukuk Dersleri) adlı kitabında hükümetin rolünü tanımlarken “Her parça eylemde bulunur ve her parça üzerinde eylemde bulunulur; her parça destekler ve desteklenir, düzenler ve geri kalan parçalarca düzenlenir... İnsan ilişkilerinde bir hareket zorunluluğu vardır ve bu güçler hareket etmeye zorlanır, yine de uyum içinde hareket ederler.”*

*Wilson'ın açıklaması Isaac Newton'ı takdir ediyordu; Newton'ın güneş sisteminin işleyiş biçimini ortaya koymasını mümkün kılan aynı etkileşim kanunlarından bahsediyordu. Dahası Newton'dan siyaset kuramına uzanan yolu izlemek zor değildir. Newton, MÖ 310 ile 230 yılları arasında Yunanistan'da yaşamış olan Samoslu Aristarchus'un çalışmalarına yaslanan Kopernik'ten esinlenmişti. Aristarchus'un esin kaynağıysa Yunan filozof, aristokrat ve siyasetçi Platon'du. Platon'un medeniyete en büyük katkısının, bir toplumun nasıl en iyi biçimde yönetilebileceğini incelediği Devlet adlı eseri olduğu düşünülür. Fakat Platon aynı zamanda seçkin bir gökbilimciydi; örneğin gezegenlerin hareketlerindeki anormalliklerin dairevi hareketlerin bir bileşimini bularak çözülebileceğini kabul eden ilk o olmuştu.*

*Platon fiziğin bir siyasetçi için mükemmel bir eğitim olduğunu düşünürdü. Liderlerin gökbilim gibi fiziksel bilimleri öğrenmeleri gerektiğini söylemişti bir keresinde; bu bilimler yıldızların gözlenmesine ya da denizciliğe katkıda bulunacağından değil, liderlik için temel önemde olan soyut düşünme tekniklerinde eğitim imkânı sunduklarından gerekliydi bu. Aynı beceriler bugün de son derece değerlidir; eğitilmiş fizikçilere laboratuvar duvarlarının dışında, finans ve işletme dünyasında, hükümetlerde büyük bir talep vardır.*

----

Bu gelişme, ışığın dalga olması gerektiği yönünde asırlardır süregelen görüşü yıkmıştı. Sonra Einstein'ın görelilikle ilgili özel kuramı zamanla ilgili kavrayışımızı değiştirdi. Kütle ile enerjinin

yer değiştirebilir olduğu fikri hakkındaki açıklaması (bkz. *Neden  $E=mc^2$ ?*) maddenin esasıyla ilgili bir açıklamaydı. Genel gorelilik kuramıysa, Newton'ın ktle çekimle ilgili olarak dört yüz yıl boyunca kabul görmüş çalışmalarının yeniden kaleme alınmasıydı (bkz. *Elma Neden Düşer?*).

Fakat bunun ardından Einstein'ın görüşleri fizikle ilgisiz hale geldi. Kuantum devrimi konunun çehresini değiştirmişti; ama Einstein, evreni tanımlamanın yararlı bir yolu olarak kuantum kuramını kabul etmeye yanaşmıyordu. Hayatının son yıllarını elektromanyetizma ile goreliliği birleştirerek kuantum kuramını gereksiz bir yenilik haline getirecek bir kuram üzerine boş yere çalışarak geçirdi. Onu destekleyen, onunla birlikte çalışan fizikçilerin sayısı giderek azaldı.

Herhalde Richard Feynman, Einstein'dan sonra en ünlü fizikçidir. Fiziği poplerleştiren başlıca isimlerden biridir, büyük ve yenilikçi bir düşünürdür, hepsinden de en önemlisi bu alanda çalışanlar onu hâlâ büyük bir kahraman olarak görmektedirler. Feynman hiçbir zaman, Einstein'ın çıktığı kadar yükseklere çıkıp baş döndürücü başarılarla imza atmamıştır; fakat çoğu fizikçinin yaptığından fazlasını yapmış; ışık ile madde arasındaki etkileşimi tanımlayan kuantum elektrodinamiği kuramının yaratılmasına katkıda bulunmuştur (bkz. *Işık Nedir?*). Bu kuram çok geniş kesimler tarafından en başarılı fizik kuramı olarak el üstünde tutulur.

<>



“İlk prensip, kendi kendinizi kandırmamanız gerektiğidir;

siz kandırması en kolay insansınız.”

**RICHARD FEYNMAN**



Feynman'ın bir fizikçi olarak en güçlü yönlerinden biri meslektaşlarının kanılarını dinleyebilme, kanıtların kanunu önünde saygıyla eğilme ve her zaman bir cahillik konumundan çalıştığını kabul edebilme becerisiydi. Şu sözü meşhurdur: “İlk prensip, kendi kendinizi kandırmamanız gerektiğidir; siz kandırması en kolay insansınız.” Kendi kendisini kandırmaya hiç niyetinin olmaması, Einstein'ın düşüşü haline gelen bir kurama alkış tutmasında zirveye ulaşmıştı. *The Character of Physical Law*'da “Kimsenin kuantum mekaniğinden bir şey anlamadığını rahatça söyleyebilirim sanırım,” demişti. “Kendi kendinize ‘Fakat nasıl olabilir?’ deyip durmayın, tabii yapabiliyorsanız; çünkü o zaman kimsenin yakasını kurtaramadığı çıkmaz bir sokağa girersiniz. Nasıl oluyor da böyle olabiliyor, bunu kimse bilmiyor.”

Einstein'ın fizikçilerden saygı görmemesinin, Feynman'ın görmesinin sebebi budur işte. Einstein kendisini çıkmaz bir sokağa sokarken, Feynman anlayışının sınırlı olduğunu kabul etmiş; yeni topraklara seferler düzenleyen diğerlerini izlemiştir. Bu da fiziğin amacının bir diğer bileşenidir: Diğerlerinin başarılarının üzerine tuğlalar ekleyerek ilerleme kaydetmek. Newton'ın dile getirdiği gibi: “İleriye görebildiysem, bu ancak devlerin omuzlarında durduğum içindir.”



“İleriyi görebildiysem, bu ancak devlerin

omuzlarında durduğum içindir.”

**ISAAC NEWTON**



Kuantum kuramı sayesinde, fizik, kendisine bazı sınırlar getirme yolunda o olağanüstü adımı dahi atmıştır. Heisenberg'in belirsizlik ilkesi (bkz. *Her Şey Nihayetinde Rastgele mi?*) fiziğin bir sistem hakkında bize söyleyebileceklerinin sınırları olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır.

## Alçakgönüllü Bir Disiplin

Bir elektronun hareketini yöneten denklemleri incelediğimizde, bu denklemlerin elektronun momentumunu ya da ivmesini bize nasıl anlattıklarını görebiliriz. Bu denklemlerin bize tam olarak elektronun hem momentumunu hem ivmesini kesin olarak aktarabilmesinin bir yolu yoktur. Bu ikisi ancak sonlu bir kesinlik içinde bulunabilir.

Werner Heisenberg bunun pratik tarafını görmüştü: Deneylerimizin aktarabileceklerinin sınırları vardır. Bir ışık fotonunu elektrona çarptırarak elektronun konumunu gösterebilirsiniz, fakat foton elektrona bir momentum da verecektir. Dolayısıyla elektronun konumunu belirleme işi momentum değerinde bir belirsizlik yaratır. Tersine, bir parçacığın momentumunun ölçülmesi de konumunda her zaman belirsizlik yaratacaktır. İster kurama ister deneye bakıyor olun, bulabileceklerimiz katı sınırlamalara tabidir. Fizik birçok bakımdan alçakgönüllü bir disiplindir. Fakat atom bombasının ardındaki fizikçilerin de ifade ettiği gibi, alçakgönüllü olmayı gerektirecek çok fazla şey vardır.

“Fiziğin amacı nedir?” sorusunu II. Dünya Savaşı sonrasında Batı hükümetlerine sormuş olsaydınız bunu sormanızın gerekliliği konusunda bir inançsızlıkla karşılaşırđınız. Savaşın göstermiş olduğu gibi, fizik her şeydir. Fizik bize fantastik teknolojik yenilikler kazandırmıştır: radar, bilgisayarlar, atom bombası ve tabii ki televizyonlar ve mikrodalga fırınlar. Fizik ekonomilerin şoför koltuğuna oturtulmuş, ülkelerin koruyucusu tayin edilmiştir. Fakat aynı soruyu fizikçilere yönelttiğinizde biraz daha boynu bükük bir cevap alabilirsiniz.

Atom bombasının New Mexico'da ilk kez denenmesinin hemen ardından Harvardlı fizikçi Kenneth Bainbridge, projenin lideri Robert Oppenheimer'a dönüp şöyle demişti: “Şimdi hepimiz orospu çocuğu olduk işte.” Oppenheimer kendi karmaşık duygularıyla mücadele ediyordu: Yıllar sonra, o gün hepsinin de dünyanın bir daha eskisi gibi olmayacağını anladığını kabul etmişti. Fakat aynı durumda olsa aynı şeyleri yine yapacağını da söylemişti: “Bilim insanıysanız böyle bir şeyi durduramazsınız,” diyordu 1945'te yaptığı emeklilik konuşmasında: “Bilim insanıysanız dünyanın nasıl işlediğini ortaya çıkarmanın iyi bir şey olduğuna inanırsınız... insanoğluna dünyayı kontrol etme yönünde mümkün olan en büyük gücü vermenin iyi bir şey olduğuna...”

## Cebimizdeki Dünya

Fiziğin amacı bu mudur? Dünyayı kontrol etmek midir? Fiziğin, en azından fiziğin sanayiye uyarlanmış halinin modern dünyayı yaratmış olduğu doğrudur. Çağımız bir tek şeyle tanımlanabilecekse o da muhtemelen mikroelektronik devrimidir: Bu devrimin birkaç veçhesini televizyon, bilgisayarlar, internet, mobil iletişim olarak sıralayabiliriz. Hepsi de fiziğin sırtına çıkarak inşa edilmiştir. Daha açık bir dille söylemek gerekirse, silikon teknolojisinin sırtına çıkarak inşa edilmiştir. II. Dünya Savaşı sırasında radarı geliştirmekle uğraşanlar, aletler için en saf silikon ve germanyum kristallerini geliştirmeye çalışıyorlardı. Fizikçiler, hepsinden de önce ABD'de Bell Laboratuvarları'nda görev yapan fizikçiler bu gelişmeleri savaştan sonra da sürdürdüler; bu kristalleri

“yarı iletken” nasıl çevirebileceklerini, önceden verimsiz ve hantal radyo lambası amplifikatörleri gerektiren teknolojilerle nasıl birleştirebileceklerini öğrendiler. 1952’ye gelindiğinde silikon tabanlı ilk elektronik ürünleri piyasaya çıkmıştı: Duyma cihazları ve cep radyoları gibi düşük güç gerektiren, gayet taşınabilir cihazlardı bunlar. Bir yıl sonra ilk transistörlü bilgisayar piyasaya çıktı. Bundan kısa süre sonra da insanlar California’nın kuzeyinde elektronik şirketlerinin yoğunlaştığı küçük bölgeyi “Silikon Vadisi” adıyla anar oldular.

Fiziğin hayatlarımız üzerindeki etkisini görmek zor değildir. Lazerler belirgin bir örnek teşkil etmektedirler. Lazerler de Bell Laboratuvarları’ndan çıkmıştır, onların da kökeninde savaş zamanında radar teknolojisiyle ilgili olarak yapılan araştırmalar vardır. 1957’de icat edilmelerinden bu yana, gündelik hayatın her yerinde görünür hale gelmişlerdir. CD ve DVD oynatıcılar, telefon ağları gibi fiber optik iletişim sistemleri, süpermarket kasa tarayıcıları, göz cerrahisi ve lazer yazıcılar bu uygulamaların yalnızca birkaçıdır.

Peki, fiziğin amacı teknolojinin gelişmesi midir? Ne yazık ki hayır. 20. yüzyıldaki teknolojik devrimler, nihayetinde kuantum kuramının keşfedilmesi –ya da belki icadı demeyi tercih edersiniz– sonucu ortaya çıkmıştır. Bu devrimler, özellikle yeni aygıtlar icat etmeye çalışmaktan çok, hiç kimsenin anlamadığı şeyleri aydınlatmaya çalışmanın; örneğin, 100 derece olan bir fırının yaydığı ışınım tayfinin, 100 derece ısıdaki herhangi bir şeyin yaydığı ışınım tayfiyle neden aynı olduğu sorusunu cevaplamaya çalışmanın bir sonucudur.

Kısacası modern elektronik teknolojilerimiz kökleri termodinamiğe, ışığın incelenmesine uzanan kuantum kuramından gelmektedir. Termodinamik de gazların incelenmesinden doğmuştur, böyle devam edip gider. Fizik kendi kendisini ayakta tutan zincirleme bir tepkimedir: Her keşif yeni bir sorular dizisi doğurur, bu sorular da yeni keşifleri beraberinde getirir. George Bernard Shaw’un bir zamanlar dediği gibi: “Bilim bir problemi hiçbir zaman on problem daha yaratmadan çözmez.”

### Sonu Hiç Gelmeyen Bir Hikâye

Soruların bir sonu varmış gibi görünmemektedir. Fizikçiler işlerin halledildiğini söylemekten hoşlanırlar. 1894’te Amerikalı fizikçi Albert Michelson, “Fizik biliminin en önemli temel kanunları ve olgularının hepsi keşfedilmiştir ve bunlar artık o kadar sıkı sıkıya yerleşmiştir ki yeni keşiflerle tamamlanmaları olasılığı son derece uzaktır,” demişti. Fakat bunu izleyen on yıl içinde ikiz devrimler, görelilik ve kuantum kuramları ortaya çıktı.

1888’de astronom Simon Newcomb astronominin sonunun geldiğini açıklamıştı: Göklerde keşfedilecek çok az şey kaldığını ileri sürüyordu. Newcomb da yanlıyordu. Bizim kozmosa bakışımız Newcomb’un zamanından bu yana, onun doğumundan önce bilimsel keşiflerle dolu geçen 10.000 yıl içinde olduğundan daha kökten bir biçimde değişmiştir herhalde. Son yüzyılda gerçekleşen başlıca atılımlar, evrenin tarihinin tamamını özetleyerek bize nereden geldiğimizi göstermiş olsa da dünyaya bakışımızdaki kibir ortadan kalkmıştır; evrenin büyük bölümünün bilimin bilmediği bir biçimde var olduğunun keşfedilmesiyle birlikte, fizikçiler artık evrenin yalnızca küçük bir bölümüyle uğraşmaları gerektiğini takdir etmektedirler.

Şunu belirtmek gerekir ki görünürde bir amaç vardır: Her şeyin teorisi. Fizik Miletlilerin doğal fenomenleri yöneten kanunları aramalarıyla başladıysa teorik düzlemde tek bir kanunun keşfedilmesiyle son bulacaktır: Evrenin nihai tasviri. Bu “her şeyin teorisi” bütün parçacıkları, aralarındaki etkileşimleri yöneten kuvvetleri ve varlıklarının ortaya çıktığı mekân ve zamanı tek bir

birleşik tanım içinde kapsayacaktır (bkz. *Sicim Kuramı Gerçekten de Sicimler Hakkında mıdır?*).

Şimdilik bu hedefe ulaşmaktan uzağız, fakat burada muhtemelen fiziğin gerçek amacını ve özünü bulduk: Cehaletimizin çapını keşfetmek ve bunu azaltmak için elimizden geleni yapmak. Bazen, atom bombasında söz konusu olduğu gibi, bu keşif yolculuğu için ödenmesi gereken bir bedel vardır. Kimi zaman, kuantum mekaniği açısından söz konusu olduğu gibi, bundan büyük pratik yararlar sağlarız. Fakat çoğu zaman, fizikçiler size fiziğin yalnızca keşfetmenin heyecanı ile ilgili olduğunu, keşfettiklerimizi keşfetmiş olmanın dünyayı daha ilginç bir yer haline getirdiğini söyleyeceklerdir. Şair John Dryden'ın dediği gibi: “Doğanın en güzel hediyesi ona bakıp onu anlamaktan duyulan sevinçtir.”



# ZAMAN NEDİR?

*İlerleme, düzensizlik ve Einstein'ın elastik saatleri*

*Beyninizin derinliklerinde striatum denilen bir doku tabakası yatmaktadır. Bu nöron topluluğu, şu sıralar bilebildiğimiz kadarıyla, zamanın bulunduğu tek yerdir. Hayatınızın ilk anlarının kayıtlarını tutar; içinizde, çocukluğunuzun önemli ve büyüleyici bir anlar seçkisi olarak aktığı, yetişkinlik hayatınızın ise gereği gibi takdir edilemeyecek kadar hızlı geçtiği hissini uyandırır.*

Fakat bu hislere çok da kıymet vermemelisiniz. Striatumun hediyesi aslında zamanın geçtiği izlenimini –hatta belki de yanılması– uyandırmaktır. Sorun, bu dokunun zamanı ölçmesinin bilinçli zihninizde olup bitenlere dayanıyor olmasıdır. Ne zaman bilinçli bir eylem gerçekleştirdiğinizde, söz gelimi çaydanlığın altını yaksanız beyninizdeki çeşitli elektrik devreleri hep birlikte yükselir. Striatum bu eş zamanlı sinyalleri kaydeder ve bunun sonucunda ön korteks gibi alanlardan gelen elektrik sinyali örüntülerini not almaya başlar. Çaydanlığın içindeki suyun ne kadar zamanda kaynadığıyla ilgili kavrayışınız bir araya gelmiş elektrik sinyallerinin ölçümünden başka bir şey değildir.

Evde durum bu kadar kötü değildir; burada bu hissi mutfak saatine şöyle bir göz atarak ayarlayabilirsiniz. Fakat saatlere erişiminiz engellendiğinde işler ters gitmeye başlar. 1960'ların başlarında Fransız jeolog Michel Siffre saatini çıkarıp kendisini 60 gün boyunca karanlık bir mağaranın içine tıktığında, zamanın geçtiği yönündeki algısı çözülmüştü. Deneyin sonuna gelindiğinde Siffre'ye bir saat dört ya da beş saat gibi geliyordu. Valyum, kafein ya da LSD gibi uyuşturucular da zaman hissinizde benzer bir terslik yaratacaktır. Hafızanızda da.

Genellikle meşgul zamanlarda, hayatın göz açıp kapayıncaya kadar geçtiğini düşünürüz; ama deneyler bunun ancak meşgulken böyle olduğunu göstermektedir. Sonradan varoluşunuz üzerine düşündüğünüzde, meşgul dönemleriniz gözünüze daha uzun görünecektir. Çocukluğunuzun şimdi size, o uzun, altın yaz günleri gibi görünmesinin sebebi budur; o zamanlar deneyimleyecek çok fazla şey olduğu için hayat heyecan vericiydi; beyniniz de bu yüksek sinyal seviyelerinin uzun zaman dilimlerine karşılık gelmesi gerektiğini düşünmektedir. O halde zamanın akışını kavrayışınız, her zaman kuşkulandığınız gibi güvenilmezdir. Fakat öyle anlaşılıyor ki zamanı algılamayla ilgili sorunlarımız, zaman kavrayışının kendisiyle olan sorunlarımızın yanında solda sıfır kalmaktadır.

## Evrensel Zaman

Bu zamana dek zamanı halletmiş olmamız gerektiğini düşünebilirsiniz. Nihayetinde zaman evrensel olarak anlaşılan bir kavramdır; bütün kültürler zamanı bilir, onun hakkında konuşur, onu hisseder. Zamanın ne anlama geldiğini bin yıllardır düşünüyoruz. Örneğin MÖ 350'de Aristo zaman kavramını oturtma yönündeki ilk girişimlerinden birini içeren *Physics* adlı bir kitap yazmıştı.

Aristo'nun zamanla ilgili çalışması bir soruyla başlıyordu. “Öncelikle,” diyordu, “zaman var olan şeyler sınıfına mı aittir, yoksa var olmayan şeyler sınıfına mı?” MS ikinci bin yılda bu hâlâ cevaplanmamış bir sorudur. Zihinlerimiz zamanın geçişine aldanyorsa bunun sebebi zamanın bir yanılması olması olabilir. Yunanlılardan bugünkü modern fiziğe dek zaman hakkında varılan sonuç değişmeden kalmıştır: Zaman en azından değişimle ilgilidir. Zaman içinde bir şey değişip başka bir şeye dönüşür.



“Öncelikle, zaman var olan şeyler sınıfına mı

aittir, yoksa var olmayan şeyler sınıfına mı?”

**ARİSTO**



Fakat Aristo'nun Yunan meslektaşları evrendeki temel kavram olarak dairelere kafayı takmışken, yani zamanın daireler, döngüler halinde akıyor olması gerektiğini söylüyorken, modern fizik çizgisel süreçlere odaklanmıştı: Başlangıçtan sona varılır, Büyük Patlama'dan kozmik kapanışa ulaşılır. Zaman içinde bu durum zamanın okunun ezici bir biçimde hissedilmesi anlamına gelir: Bizim evrenle ilgili modern bakış açımıza göre zaman geri çevrilemez bir biçimde ileriye doğru akmaktadır. Yumurtalar kırılır, kırılmadan önceki hallerine geri çevrilemezler. Saatler ileriye doğru ilerler, kendiliğinden geriye gittikleri olmaz.

Sistemlerin geri çevrilemez bir biçimde düzensizliğe doğru ilerlediği bu değişim süreci termodinamik zaman oku olarak bilinir. Kaynağında fiziğin en temel yasalarından biri vardır: Termodinamiğin ikinci yasası. Bu yasa bir bütün olarak, evrenin bir düzenin çözülmesi süreci içine sıkıştığını söylemektedir. Bir sistemdeki düzenliliğin ölçüsü olan entropi her zaman artmaktadır.

### Düzen ve Düzensizlik

Zamanın oku çok çeşitli kaynaklardan çıkıyor olabilir. Örneğin "kozmojik zaman oku" evrenin yaratılışının, her şeyin kesin bir düzen içinde olduğu özel bir düşük entropi durumunun bir adım ötesi olduğunu göstermektedir. İş biraz tam anlamıyla çözüme ulaştırılmış bir Rübik Küpü'nün meraklı bir çocuğun eline tutuşturulmasını andırmaktadır; zaman geçtikçe evren daha da düzensiz bir duruma doğru ilerlemektedir; tıpkı Rübik Küpü'nün üzerindeki kesin düzenin, yerini karman çorman bir renk çorbasına bırakması gibi. Bazı şeyler, örneğin galaksiler, genellikle ince bir güzelliği olan yapılarıyla düzenli görünseler de bir bütün olarak evrenin düzeni azalmaktadır. Evrenin sonu yaratılacak bir düzensizlik olmadığında gelecektir; yani Lord Kelvin'in dediği gibi evren "evrensel bir dinlenme ve ölüm durumuna" ulaştığında.

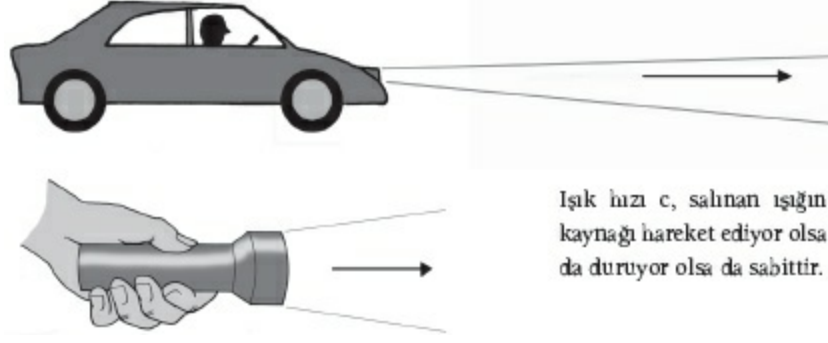
Aşınası olduğumuz zaman oku, kuantum kuramından da doğabilir. Bir (muhtemelen en popüler) düşünce ekolüne göre, kuantum sistemleri ölçüldüklerinde geri çevrilemez bir "çöküş" yaşarlar. Bu durum, bir kuantum nesnesinin, örneğin bir atomun aynı anda tümüyle farklı iki durumda var olma konusunda gösterdiği dikkat çekici beceriden kaynaklanmaktadır. Örneğin bir atom aynı anda hem saat yönünde hem saat yönünün tersine dönüyor olabilir. Fakat ölçüm yapıldığında, bu ikili durum ikisinden biri olmak durumunda kalır: Ölçüme konu alan atomun ya saat yönüne ya da saat yönünün tersine döndüğü görülecektir; atom aynı anda her ikisini de yapıyor olma durumuna geçmeyecektir.

Gelgelelim zaman okuyla ilgili bu tanımlarda bir sorun vardır. Bizi hiçbir yere çıkarmazlar, çünkü değişim kavramını gerektirirler. Ve değişim de Aristo'nun dikkat çektiği üzere zamanın geçmekte olduğunu işaretidir. Zaman okunu değerlendirerek zamanı tanımlama yolunda gerçekten de hiç ilerleme kaydedemeyiz. Elimizdeki tek şey, görünürde zamanın aldığı yönle ilgili varsayılan açıklamadır. Hatta bu açıklama bile baltalanmıştır. Zamanın oku bireysel deneyimimizin bir parçası olabilir; fakat elimizde bunun zamanı gerçek kıldığına dair bir gerekçe yoktur. Daha da kötüsü gerçek olmadığına inanmak için iyi bir sebebimiz vardır.

### Zamanda Bir Gerilme

İnsanı telaşa düşüren bu kavrayış için Albert Einstein'a teşekkür etmeliyiz: Bu kavrayış onun özel görelilik kuramının kalbini oluşturmaktadır. Einstein 1905'te fikirlerini yayınladığında o kadar

bilinen bir isim değildi. Özel görelilik devrimci bir çalışmaydı, uzayın tamamının eterle, hayali bir sıvıyla dolu olduğu yönündeki kavrayışı tek bir darbeyle yıkıyordu ve ışık gibi elektromanyetik alanların hareket edebileceği bir zemin sağlıyordu.



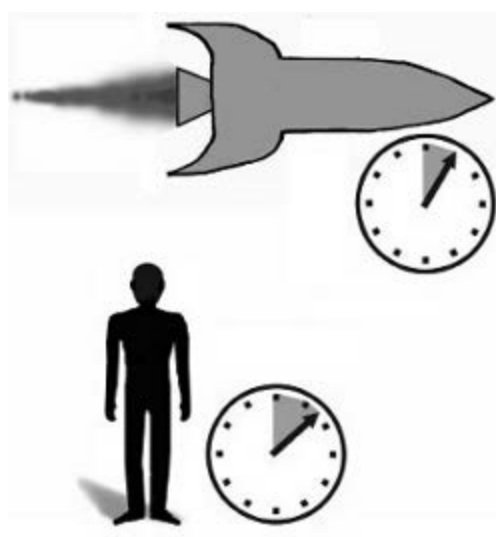
### IŞIK HIZININ SABİTLİĞİ

Bu noktada, artık aramızdan ayrılmış olan Carl Sagan'ın bir zamanlar dediği gibi sıradışı kuramların sıradışı kanıtlar gerektirdiğini, hal böyleyken özel görelilik kuramının kendisini destekleyen olağandışı kanıtlara dayanan birkaç kuramdan biri olduğunu belirtmek gerekir. Birazdan okuyacaklarınız size saçma gelebilir; ama ciddiye almanız için her tür sebep mevcuttur.

Özel göreliliğin merkezinde şu yatmaktadır: Fizik kanunları evrende nasıl hareket ediyor olurlarsa olsunlar herkes için aynı şekilde geçerlidirler. Bunun en önemli sonucu ışık hızının evrensel olarak  $c$  diye bilinen bir sabit olmasıdır. Saatte 100 kilometre hızla size doğru yol almakta olan bir aracın tepe ışıklarının çıkardığı ışığın hızını ölçecek olursanız ışık hızı  $c$  olacaktır; saatte 100 kilometre (62 mph) artı  $c$  değil. Işık hızı, ışığı salanın ve gözlemcinin görelî hareketine bağılı olarak değişmez.  $c$  sabitinin olağandışı yönü şudur: Koşullar gerektirdiğinde diğer her şey değişir ve bunlara zaman da dahildir. Zamanın geçişi, zihninizde olduğu kadar gerçek, fiziksel dünyada da esnek bir gelişmedir.

Trafik ışıklarının bulunduğu bir kavşağın 100 metre ötesinde durduğunuzu düşünün. Şaşırtıcı derecede dakik bir kronometreniz, bir cetveliniz ve bir de şimşek hızında refleksleriniz var. Işık değişip kırmızı oluyor ve siz de ilk kırmızı ışık değişiminin sizin metrenizde ne kadar yol aldığını ölçebiliyorsunuz. O sırada yanınızdan bir araba geçiyor, kavşağa doğru saatte 100 kilometre hızla ilerliyor. Arabanın ön koltuğunda oturan yolcu da sizinle aynı becerilere ve aynı donanıma sahip, o da aynı ölçümü gerçekleştiriyor: Işığın cetvel boyunca ne kadar zamanda yol aldığını ölçüyor.

Her ikiniz de ışığın hızını ölçtünüz. Einstein her ikinizin de aynı sonuca ulaşmış olmanız gerektiğinde ısrar eder. Fakat araba yanınızdan geçip trafik ışığına doğru yol aldığı anda, içindeki cetvel de onunla birlikte yol aldı. Işık arabanın içindeki cetvelin uç noktasına vardığında, cetvelin ucu trafik ışıklarına yaklaşmıştı; bu yüzden de ışığın o cetvel üzerinde alması gereken yol, sizin cetvelinizde alması gereken yola kıyasla daha kısa bir yoldu. Arabanın içindeki yolcunun ölçümlerine göre ışığın daha hızlı olması, bir metrelik bir cetveli aşmayı daha kısa zamanda tamamlamış olması gerekir. Peki o halde, nasıl olur da ikiniz aynı sonuca ulaşmış olabilirsiniz? Cevap farklı durumlarda zamanın geçişiyle ilgilidir. Sizin saatinizle kıyaslandığında, arabanın içindeki saat yavaş ilerlemektedir. Dolayısıyla ışık belirgin olarak daha az mesafe aldıysa da zaman ölçümü sizin yaptığınızdan fazla olmuştur; bu da oluşan etkiyi ortadan kaldırmıştır.



### ZAMAN GENLEŞMESİ

Bu, bir yanlısalar bileşiminin sizi doğru sonuca götürdüğü bir el sürçmesi değildir. Zaman genişmesi olarak bilinen bu etki, sadece saat, ışık hızına yakın bir hızda hareket ediyorsa dikkat çekici bir biçimde fark edilir hale gelir; fakat sizinle görelî bir hareket içindeki saatin elinizde tuttuğunuz saatten gerçekten de daha yavaş işleyeceği kesindir. “Saat” kelimesi zamanın geçişine işaret eden her şeyi ifade edebilir. Bu ifadeyi kesip parçaladığınızda her tür rahatsız edici sonucun ortaya çıktığını göreceksiniz.

#### Yaşlanan Akrabalar

Hemen kavranabilir olan bir şeyle başlayalım. Pierre ve Marie Curie'nin yaklaşık 100 yıl önce keşfettiği radyoaktif bir malzeme olan polonyumdan bir tutam aldınız diyelim. Polonyumun bir biçimi olan Polonyum 209'un yaklaşık 100 yıl süren bir yarı ömrü vardır; yani bir asır sonra atomlarının yarısı bir radyasyon patlaması salacak ve daha istikrarlı atomlara dönüşeceklerdir.

Curie çifti bu malzemeyi keşfettiklerinde birbirine benzer iki tutam almış olsalardı, bir tutamı Paris'teki laboratuvarlarında bırakıp diğerini ışık hızının 0.99'u oranında bir hızla dünyanın etrafında yörüngeye soksalardı, bu tutam Dünya'ya bugün dönseydi iki tutamın saldığı radyasyon miktarında dikkat çekici bir yön olduğunu keşfederdik. Paris'te kalan tutam bu 100 yıl içinde radyoaktif polonyum atomlarının yarısını kaybetmiş olacaktır. Mesele şudur ki ikizinin, uzaya gönderilip geri dönen tutamın sadece yüzde 10'u çürümüş olacaktır.

Bunun sebebi, Dünya'yla görelî hareketin ışık hızının 0.99'u oranında gerçekleşiyor olmasıdır (ivme kazanma, ivmenin azalması ve dönme gibi meseleleri bir kenara bırakırsak); bu yüzden bu tutam için zaman yavaşlamıştır. Bu tutamın “saati”, atomlarının radyoaktif çürümeyi yaşama hızıyla ölçüldüğü biçimiyle, gezegenden hiç ayrılmamış olan ikizinin hızının sadece yüzde 14'ü kadar bir hızla işlemektedir. Bu tutamın radyoaktif atomlarının birçoğunun sapsağlam kalmış olmasının sebebi de budur. Herhalde bunu sindirmek bir parça zor olacaktır. Fakat şimdi sırada gerçekten hiç anlamayacak bir şey var.

Pierre ile Marie Curie'nin iki polonyum tutamını muhafaza ettiğini varsayalım. Pierre uzay yolculuğunda tutamlardan birine eşlik edecektir, Marie ise kendi tutamıyla birlikte Paris'te laboratuvarında kalacaktır. Bilim insanlarının bedenlerinde de iç saatler vardır; tıpkı polonyum için söz konusu olduğu gibi, onların atomları da zaman geçtikçe değişir; bir kalp atışı oluştururlar örneğin, bazı hücreler belli sayıda bölünmeyi gerçekleştirdikten sonra kapanır. Biyologlar yaşlanma ve

ölümün kökeninde bu fenomenin yattığına inanmaktadır.

Radyasyonun olası feci etkilerini görmezden gelelim; Pierre'in bedenindeki atomlar, dolayısıyla hücreler ve kalp atışı Marie'ninkine kıyasla daha yavaş akacaktır; tıpkı polonyumun radyoaktif çürümesinin Dünya'da daha yavaş gerçekleşmesinde olduğu gibi. Pierre 100 Dünya yılı sonra geri döndüğünde Marie çoktan ölmüş olacaktır, fakat Pierre'in bedeni sadece 14 yıl yaşlanmış olacaktır. Buradan hemen çıkarabileceğimiz bariz bir sonuç, doğru kaynaklarla yürütüldüğünde, geleceğe doğru bir zaman yolculuğunun tümüyle mümkün olduğudur. Fakat bu noktadan hareket edip Einstein'ın özel görelilik kuramının bir ortak gelecek kavramını kenara bıraktığı yönündeki şaşırtıcı kavrayışa doğru ilerlemek için küçük bir adım atmak yeterli olacaktır. Ortak bir şimdi ve ortak bir geçmiş de yoktur.

## Kayıp Zamanın Peşinde

Durup trafik ışıklarına bakıyorken iki olayın aynı anda gerçekleştiğini gördüğünüzü söyleyebilirsiniz. Fakat biraz önce görmüş olduğumuz gibi, arabanın içindeki yolcunun saati farklı bir hızla ilerlemektedir. Bu iki olayın zamanlamasıyla ilgili olarak edindiğiniz bilgi pekâla farklı olacaktır. Daha da kötüsü, iki olayın A ile B'nin farklı zamanlarda gerçekleşmiş olduğunu; B'nin A'dan sonra gerçekleşmiş olduğunu görebilirsiniz. Sizinle göreliliğin bir hareket içindeki arkadaşınızın nasıl bir hareket içinde olduğuna bağlı olarak arkadaşınız A'nın B'den sonra gerçekleştiğini görmüş olabilir. Bunun feci sonuçlara yol açması olasıdır: A'ya B'nin yol açmış olduğunu düşünüyorsanız önce B'nin gerçekleştiğini görmüş olan birine bunu nasıl açıklayabilirsiniz?

Geçmiş, şimdi, gelecek, eş zamanlılık, neden ve sonuç; hiçbir şey evrensel değildir. İş zamana ve zamanın yönettiği süreçlere geldiğinde, siz ve striatumunuz yalnızsınız. Gelgelelim bütün bu kargaşaya verilebilecek tek bir cevap vardır ve bu cevap birçok fizikçi, birçok filozof için çekici olan bir açıklamadır. Zamanın var olduğu kavrayışını bir kenara bırakabiliriz.

Bu 17. yüzyıla dek uzanan bir tartışmadır. Newton'ın Hıristiyanlık inancı, uzay ve zamanın Tanrı'nın karakterini yansıttığını gerektiriyordu; Newton, zamanı gerçek bir varlık, evrendeki her şeyden bağımsız olarak hareket eden bir mutlak olarak değerlendiriyordu. Fakat büyük rakibi Gottfried Leibniz zamanın insan yapımı bir şey olduğuna inanıyordu. Leibniz yapabileceğimiz tek şeyin şeylerin uzaydaki konumlarının birbiriyle nasıl bir ilişki içinde olduğunu, bu ilişkinin nasıl geliştiğini tanımlamak olduğunu söylüyordu. Örneğin bir saatin sarkacının ileri geri sallanması ve saatin kollarının buna cevaben kadran üzerinde dolanması işe yarar; ama bu, saatin aslında var olan bir şeyi ölçtüğü anlamına gelmez. Bu bakış açısıyla yaklaşırsak, zaman, dünyayı anlama arzumuzdan doğan bir şeydir; fakat yararlı bir odaklanma aracından daha yararlı değildir. Uzamsal bir kavram olan "yukarı" gibi, zaman da bir kestirmedir. Londra'daysam "yukarı" belli bir yönü işaret edecektir; ama aynı yön Sydney'de aslında "aşağı"dır.

Bu bağlantı uygun bir örnek olmaktan biraz daha ileri gider. Einstein genel görelilik kuramını yayınladığında ("özel kuram"daki "özel" özel, yani belli bir duruma işaret etmektedir, özel bir anlama değil), zaman ile uzay arasında bir bağlantı olduğunu öne sürmüştü. Zamanın evrendeki dört boyuttan biri olduğunu söylüyordu. Diğer üç boyut fiziksel bedeninizin hareketinden aşına olduğunuz boyutlardır: yukarı ve aşağı, ileri ve geri. Aradaki tek fark, bilinçli yaratıklar olarak bizlerin uzamsal boyutlarda nasıl hareket edeceğimizi seçerken zaman içindeki hareketimiz üzerinde hiçbir kontrolümüzün olmamasında yatmaktadır.

## Uzayı ve Zamanı Esnetmek



Einstein'ın dört uzay ve zaman boyutu –hep birlikte uzay-zaman olarak bilinirler– eğilip bükülebilir, katlanabilen, kıvrılabilen hatta içlerinde kütlesi ya da enerjisi olan bir şey tarafından yırtılabilen bir parça kumaş olarak düşünülebilir. Bu temelden yola çıkarak genel görelilik, kozmosun özelliklerini görülmemiş bir doğrulukla tanımlayan denklemleri donanımımıza katmış; evrenin nasıl işlediğini bulup ortaya çıkarmamızı, çok çok uzak mesafelere uzay araçları göndermemizi ve Dünya'da nerede olduğumuzu söyleyecek küresel konumlama uyduları yelpazesini yaratmamızı sağlamıştır. Fakat herhalde hepsinin en ilginç, Einstein'ın dört boyutlu dokusunun esnekliğinin zamanın kökenine işaret ediyor olmasıdır.

Bir kara deliğin muazzam derecede güçlü bir kütleçekim alanına sahip olması, merkezinin yakınlarında, kara delikten uzaklaşmak için gerekli ivmenin ışık hızından daha fazla olduğu küresel bir bölge bulunduğu anlamına gelmektedir; ulaşması imkânsız bir ivmedir bu. Işık dahil hiçbir şey bu bölgeden dışarı çıkamaz; bu yüzden de bu sınırların ötesine geçen hiçbir şey hakkında bilgi edinemeyiz. Bu durum, bu bölgeye de ismini vermiştir: Olay ufku.

Olay ufkunda zaman esnemesi sonsuzdur. Siz olay ufkuna doğru düşerken, güvenli bir mesafeden gözlem yapmakta olan biri, zaman ona göre sizin için sonsuz derecede yavaş aktığından hareketlerinizin yavaşladığını, sonra da donduğunu görecektir. Sadece gözlemcinin sonsuz geleceğinde olay ufkuna varırsınız, dolayısıyla gözlemcinin görüş mesafesinden hiç çıkmazsınız. Öte yandan sizin deneyiminiz son derece dramatik olacaktır. Bedeninizin muazzam kütle çekim kuvvetlerinden sağ çıkması son derece ihtimal dışıdır; fakat sağ kalırsanız nihayetinde, göreliliğe göre uzay-zamanın çökmesi diyebileceğimiz şeyle karşılaşacaksınız. Kara deliğin merkezindeki “tekillik”, çarpılma sonsuz bir hal alırken ortaya çıkar. Burada bilinen fizik kanunlarının sınırlarına ulaşırız, buradan sonra bu kanunlar işlemez.

## Anların Başladığı An

Tekillik sık sık yıkımla ilişkilendirilmiş olsa da yaratılışın anahtarı olduğu düşünülmüştür. 1970'lerin başında Roger Penrose ile Stephen Hawking evrenin kökenini açıklamak için kara delik tekilliğini matematiksel bir kavrayışa uyarlamışlardı. Bir kara delikte her şey tekillik içinde kaybolur. Fakat sürecin matematiğini değiştirdiğinizde, tekillik uzay-zaman dokusunun doğmasına yol açabilir. Otuz yılı aşkın bir süredir bu, Büyük Patlama'ya, zamanın kökenine dair en iyi açıklamamız olarak görülmüştür.

Genel görelilik zamanın nereden geldiğine ışık tutuyorsa da zamanın ne olduğuna dair bize pek fazla bir şey söylemiyor. Dahası, Einstein'ın uzay ve zamanın niteliklerine dair açıklamaları etkileyici olsa da özel ve genel göreliliğin nihai cevap olmadığını biliyoruz.

Tekillik bize bir şey gösterdiyse o da şudur: Genel görelilik birçok senaryoda dikkat çekici derecede iyi işliyorsa da evrenimizdeki en uç fenomenlere dair tatmin edici bir açıklama sunamaz. Kozmosla ve içerdiği her şeyin (kara deliklerin merkezleri dahil) nasıl davrandığıyla ilgili eksiksiz bir betimleme –“kuantum kütle çekimi” olarak anılan bir teoridir bu– hâlâ elimizden kayıp gitmektedir. Anlaşıldığı üzere sorunun kökeninde zamanın niteliği bulunmaktadır.

Kuantum kütle çekiminin göreliliğin zaman kavrayışını kuantum kuramına işlemesi gerekmektedir; kuantum kuramı, moleküller, atomlar ve atom altı parçacıklardan oluşan mikro dünyanın nasıl davrandığıyla ilgili olarak getirdiğimiz en iyi tanımdır. Fakat kuantum kuramı zamanı çok az dikkate alır. Kuramın standart formülasyonunda örneğin, bir sürecin ne kadar sürdüğünü soramazsınız. Sonra

şöyle bir sorun vardır ki kuantum kuramı bize atomaltı parçacıkların çoğunun zamanın yönünden bağımsız olarak var olduğunu söyler. Atomaltı parçacıklar aynı anda hem saat yönünde hem saat yönünün tersine dönebildikleri gibi, kuantum durumları da zaman içinde ileriye ve geriye doğru ilerleyebilir. Araştırmacılar, bilginin parçacıkların geleceğinden geliyormuş gibi görüldüğü kuantum deneyleri yapmayı bile öğrenmektedirler. Dahası özel görelilik bize kütesiz parçacıkların, örneğin fotonların ve atom çekirdeklerini birbirine bağlayan glüonların ışık hızında yol aldığını, zamanın geçişini tecrübe bile etmediğini aktarmaktadır.

Büyük fizikçi John Wheeler bir zamanlar “Zaman doğanın her şeyin bir anda olup bitmesini önleme tarzıdır,” demişti. Bunu söylerken gözünü kırpmış olabilir; zamanın belirgin basitliğinin gerçek doğasını yalanladığına inanıyordu. Aziz Augustinus “O zaman zaman nedir? Kimse sormazsa ne olduğunu biliyorum. Ama soranlara açıklamayı istersem ne olduğunu bilmiyorum.”

Augustinus’tan bu yana elde ettiğimiz bütün bilimsel başarılarla rağmen, zaman, bir muamma olmayı sürdürmektedir, herhalde bugün bilim adamlarının karşı karşıya olduğu en büyük sorundur. Fakat zaman bir yanılısamaysa en azından yararlı bir yanılısamadır. Sonuçlarıyla ilgili olarak getirdiğimiz yorumlar –geçmişle ilgili hatıralarımız, şimdideki varlığımız ve gelecekle ilgili umutlarımız– insan deneyiminin kalbini oluşturmaktadır. Daha doğrusu striatumunuzun inanmanızı istediği şey budur.

# SCHRÖDINGER'IN

# KEDİSİNE NE OLDU?

*Kuantum fiziği*

*ve gerçekliğin doğası*

*Sene 1925; Buster Keaton ile Charlie Chaplin'in altın yılları. Dünya, Chaplin'in ertesi ay gösterime girecek olan, o zamana kadarki en güzel filmi olarak baş tacı edilen Altına Hücum'un heyecanını yaşıyor. Almanya'nın Hamburg kentinde fizik öğrencisi olan zavallı Wolfgang Pauli ise sıkıntı içinde. Bir meslektaşına "Şu sıralar fizik yine karman çorman, neresinden bakarsan bak benim için çok karmaşık," diye yazıyor. "Keşke film yıldızı ya da öyle bir şey olsaydım da fiziğin lafını hiç duymamış olsaydım."*

Pauli çok haklıydı: Fizik karman çormandı. Yeni oluşturulmuş kuantum kuramının neden bahsettiğini kimse anlamıyordu. Deneyle enerjinin bölünüp görünmez paketler, yani kuantalar oluşturması gerektiğine işaret ediyordu; ama neden böyle olduğunu kimse söyleyemiyordu. Sonra, birkaç ay sonra Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger bu kargaşayı giderdi: Bu gelişme bir kadınla birlikte (karısı değildi bu kadın) İsviçre Alpleri'nde bir geziye çıktığında gerçekleşmiş, gezi hayali bir kedinin akıbetinin sorgulanmasıyla son bulmuştu. Bu hayali yaratık çabucak bilim tarihinin en ünlü hayvanı olup çıktı. Schrödinger'in kedisinin hikâyesinden kuantum kuramının tuhaflığı akar, hikâyenin muammadan farkı olmayan niteliği de bugüne kadar bozulmadan kalmıştır.

Schrödinger'in gerçekleştirdiği atılımın kökeni Louis de Broglie adlı Fransız bir fizikçinin çalışmalarına uzanmaktadır. Broglie 1923'te göreliliği, genel olarak çok büyük ölçeklerdeki mesafe ve hızın fiziği ile yeni doğmuş kuantum kuramını, çok küçük olanın fiziğini bir araya getirmişti. Sonuçta ortaya çıkan basit bir denklem olmuştu. De Broglie hareket eden her parçacığın aynı derecede sağlam bir biçimde dalga olarak tanımlanabileceğini söylüyordu. Her dalga da hareket eden parçacık olarak tanımlanabilirdi. Önüne konulduğunda Einstein bu çalışmayı "bir hayli ilginç" bulmuştu. Fakat iki yıl sonra Schrödinger, bu çalışmanın bundan çok çok daha fazlası olduğunu göstermişti.

Erwin Schrödinger 1925'te Noel tatili sırasında, De Broglie'nin geliştirdiği formülün matematiksel açılımları üzerinde çalışıyordu. Karısını Zürih'te bırakan Schrödinger, sevgilisini İsviçre dağlarındaki bir şatoya götürdü. Onun açısından olağandışı bir durum değildi bu; öyle görünüyordu ki karısı ve o evlilikleri boyunca böyle birkaç "düzenleme" gerçekleştirmişlerdi. Her ne olursa bu gezinin ilham verici olduğu açıktı. Schrödinger dağlardan Schrödinger dalga denklemi olarak bilinen denklemle döndü. Bu denklem, bir kuantum parçacığının dalga olarak değerlendirildiğinde nasıl davrandığını anlatmaktadır.

Schrödinger denklemi, kuantum durumlarının nereden geldiğini anlamının bir yolunu sunar. Örneğin Bohr'un atom modelinde, çekirdeğin çevresinde dolanan bir elektron ancak belli enerji durumlarında olabilir. Schrödinger'in denklemi bu "kuantize" enerjilerin neler olduğunu işlemenin bir yolunu da sunar: Elektron ancak ve ancak dalgası, yörünge etrafında dolarken belli sayıda salınımı gerçekleştirdiğinde kararlıdır.

Kuantize enerjilere dair ellerinde uygun bir açıklama bulunmayan fizikçiler açısından bu bir

devrimdi. Fakat denklem aynı zamanda, bir elektronun enerjisinin belli bir durumda zaman içinde nasıl gelişeceğini ortaya çıkarmanın da bir yolunu sunuyordu. Aynı zamanda parçacığın konumunu, yani momentumunu ya da birbiriyle etkileşim içindeki iki parçacığın kuantum durumlarının nasıl bir hal alacağını da aynı ölçüde iyi bir biçimde ortaya koyuyordu. Bu denklem bir başyapıt olarak baş tacı edilmişti, ama bir tek sorun vardı.

Dalga denkleminin aslında ne anlama geldiği konusunda kimse hemfikir değildi. Parçacıkların aslında dalga olduğu anlamına mı geliyordu? Schrödinger böyle olması gerektiğine inanıyor, daha doğrusu böyle olmasını umuyordu. Einstein da ona arka çıkıyordu. Fakat diğerleri buna karşı çıkıyorlardı. Örneğin Göttingen Üniversitesi fizikçilerinden Max Born dalga denklemi çözümlerinin olasılıklardan başka bir şeye yol açmayabileceğini göstermişti. Belli bir uzayda bir parçacık bulma olasılığından ya da bir parçacığın belli bir momentuma sahip olması olasılığından başka bir şeye yol açmayabileceğini.

Bu bakış açısına göre bu denklem, incelemeye aldığımızda kuantum sistemi hakkında neler bulabileceğimize dair bir rehberdi; fakat sistemin doğasının aslında ne olduğuyula ilgili söyleyecek pek bir şeyi yoktu. Başka bir deyişle bize kuantum nesnesinin bir tanımını değil, onun hakkında neler bilebileceğimizin bir tanımını veriyordu. Felsefi olarak bu bir kâbustu, Einstein bundan nefret ediyordu, Schrödinger de öyle.

## Olumlu Düşünmek

Öte yandan Niels Bohr buna bayılıyordu. Bohr Kopenhag'da bulunuyordu; burada Carlsberg bira fabrikasının finanse ettiği bir kurumu yönetiyordu. Bir "pozitivistti." Onun felsefesine göre bir şeyin nesnel özelliklerinden bahsetmek saçmaydı; çünkü bir şey hakkında ancak öznel ölçümlerle bilgi edinebilirdiniz. Bu ölçümler de her zaman bilebileceğimiz şeyleri sınırlardı.

Bohr, Schrödinger'in dalga denkleminin ardındaki nihai gerçekliğin ne dalga ne de parçacık olduğunu düşünüyordu; bu denklem bu yüzden anlayabileceğimiz terimlerle tanımlanamıyordu. Bohr'un buna verdiği cevap hiçbir şeyin ölçülünceye kadar var olmadığını varsaymak olmuştu. Fakat bir ölçüm yapıldığında, ölçümün tipi ne gördüğümüzü de belirleyecekti. Bir şeyin uzaydaki konumunu tespit eden bir alet kullanırsanız uzayda belirgin bir konumu olan bir şey, parçacık dediğimiz oluşumu görecektiniz.

Einstein "kuantum kuramının" bu "Kopenhag yorumunun" bir tek parçasını bile benimsemeyecekti. Büyük çalışması görelilik, özellikle gözlemciden bağımsız bir kuram yaratmak için oluşturulmuştu. Göreliliğin ana teması, üzerlerinde kim çalışıyor olursa olsun fizik kanunlarının aynı olması gerektiği idi. Evrenin fiziksel niteliğinin, bizim ona nasıl yaklaştığımızla bağlı olması, Einstein'ın duyarlılığını derinden yaralıyordu.

Einstein'ın sorunu şurada yatıyordu: Kuantum nesnelere bir dalga denklemi kullanarak tanımlanması, dalgalar gibi, kuantum nesnelere de birbirleriyle iç içe geçebildiği anlamına gelir. İki dalga birbiriyle etkileşime girdiğinde bir "süperpozisyon" ortaya çıkar; bu süperpozisyon herhangi bir noktadaki dalgaların toplamıdır. İki dalga tepesi kesiştiğinde, örtüşme her iki tepe noktasından da büyüktür. İki dalga dip noktası kesiştiğinde, dalganın dip noktası derinleşir. Bir dalga tepesi ve dip noktası kesiştiğinde, sonuç düzlük olur.

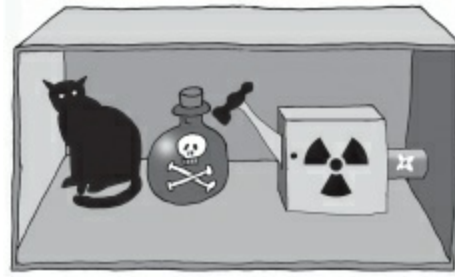
Peki, bu durum kuantum parçacıklarına nasıl uyarlanır? Schrödinger'in dalga denklemi, kuantum

parçacıklarının doğru koşullarda, farklı hallerin örtüşmesinde var olduğunu söylemektedir. Dolayısıyla bir metal yüzük içinde dolanan bir elektron aynı anda hem saat yönünde hem saat yönünün tersine doluyor olabilir. Bir ışık fotonu aynı anda birçok yönde polarize edilebilir, yani fotonun elektrik alanı yönlendirilebilir. Bir kuantum süreciyle çürüten radyoaktif bir atom “çürümüş” ve “çürümemiş” süperpozisyon durumunda olabilir. Kulağa anlamsız gelse de kuramın ileri sürdüğü şey budur.

Einstein ile Schrödinger’in kuramda eksik bir şeyler olduğunu söylemiş olmalarının sebebi de budur. Schrödinger bu meseleyi iyice kafaya çakmak için kediyi ortaya atmıştır. 1935’te bir dergiye gönderdiği bir makalede “Son derece saçma vakalar düzenlenebilir,” diye yazıyordu. “Bir kedi çelik bir kutuya kapatılmıştır,” diye devam ediyor, bu saçma vakayı ayrıntılarıyla tarif etmeye girişiyordu; böylece bilmeden kuantum kuramının gelecekteki yorumlarının köşetaşını oluşturuyordu.

### Kutunun İçindeki Kedi

Kapalı çelik kutuda Schrödinger’in kedisiyle birlikte küçük bir parça radyoaktif malzeme ve Geiger sayacı bulunmaktadır. Herhangi bir anda, radyoaktif maddenin bir parçacık salması, böylece Geiger sayacında bir elektrik akımını tetiklemesi olasılığı vardır. Fakat Schrödinger Geiger sayacını, bir çekici serbest bırakacak şekilde yerleştirmiştir; öyle ki radyoaktif bir salım tespit ettiğinde çekiç bir hidrosiyamik asit şişesini kırarak, şişeden kedinin ölümüne yol açacak buharlar çıkacaktır.



*SCHRÖDİNGER'İN KEDİSİ DÜŞÜNCE DENEYİ*

Schrödinger’e göre, kediyi oluşturan bütün atomlar da dahil olmak üzere, bütün bu sistemin kuantum tanımı “bunu hem diri hem ölü kediyi (ifadenin kusuruna bakmayın) eşit parçalarda karıştırılmış ya da silinmiş bir biçimde içererek ifade edecektir.” Mantık sağlamdır. “Çürümüş” ve “çürümemiş” süperpozisyonundaki (üstüste binme) radyoaktif atomun kararsız doğası, kediyi ölü ve diri süperpozisyonuna da sokabilir.

Ölçüm meselesi gündeme geldiğinde golcü de devreye girer. Bohr bir ölçüm yapılcaya dek kesin bir gerçeklik olmayacağını; çünkü ölçüm aleti tercihinin gözlemcinin sistemin hangi yüzünü –dalga mı yoksa parçacık mı– göreceğini belirleyeceğini söylemiştir. Dolayısıyla Bohr’un bakış açısına göre kutunun açılması ve kedinin durumunun gözlenmesi onu diri ya da ölü olmaya zorlayacaktır.

Schrödinger’in bu kadar saçma bulduğu şey de budur: Gözlem eylemi nasıl olur da bir kedinin böyle temel bir özelliğini değiştirebilir? Ya biri ya diğeri söz konusu olmalıdır. Bulanık bir fotoğraf nasıl sis izlenimi uyandırabilirse Bohr’un da öyle aldanmakta olduğunu söylüyordu. “Makinenin sallandığı ya da odak noktasının kaydığı bir fotoğrafla, bulutlar ve sis tabakalarını gösteren bir fotoğraf arasında fark vardır,” diyordu.

O sıralarda kuantum kuramının yorumu kamuya açık bir tartışma haline gelmişti: Einstein ile Bohr 1927’de, Brüksel’deki beşinci Solvay Konferansı’nda o meşhur atışmayı yaşadılar. Einstein bir dizi

düşünsel deneyle Bohr'a meydan okudu. Şöyle bir durumu düşünün, diyordu: Aygıtla etkileşimde bulunmanız ya da gözlem yapmanız bir süperpozisyonun bir duruma ya da diğerine dönüşmesine nasıl yol açar?

## Dalgalar ve Kurşunlar

Bu tartışmanın nihai sonucu, eski bir deneyin yeni bir versiyonudur: Şu çok meşhur "çifte kesik" deneyi. 1801'de Thomas Young, Newton'ın ışığı parçacık olarak gören yaklaşımını, üzerine iki kesik açılmış bir ekrana ışık tutarak tersine çevirdi. Young bir "iç içe geçme örüntüsü" gözlemiştir, bu durum ancak dalgaların süperpozisyonuyla açıklanabilirdi. Tartışmanın kuantum versiyonu ışığın yoğunluğunu kuantum kuramının devreye girebileceği kadar azaltırsanız neler olduğunu sorar. Deneyin herhangi bir anında tek bir kurşun ya da ışık "fotonu" varsa bir "iç içe geçmenin olmayacağı" da kesindir, öyle değil mi?

Bohr'un bakış açısına göre, fotonun hangi kesikten geçtiğini görmek için biri bakıyor olmadığı sürece bir "iç içe geçme olabilir." Bohr'a göre ışık ne bir dalgadır ne de parçacıktır; bunlar özelliklerini ölçtüğümüz bir şeye verdiğimiz isimlerdir sadece. Schrödinger'in dalga denklemine göre ışık fotonları her iki kesikten de geçer. Tek bir parçacık olmasına rağmen, her foton bir dalga olarak "silinir"; kesiklerden geçtikleri sırada birbirinden bağımsız iki biçimde varlık gösterirler. Kimse ışığın aldığı yolu ölçmediği sürece, ışık mümkün olan bütün yollardan geçecektir.

Bütün bunların laf cambazlığından ibaret olduğunu düşünebilirsiniz; gerçek dünyada denenmeye kalkıldığında tuhaflıkları kaybolup gidecek soyut düşünce deneyleri olduğunu düşünebilirsiniz. Yanılmış olacaksınız, Bohr bundan keyif duyardı. Nispeten kısa bir süre öncesine kadar bu konu kesin bir çözüme bağlanmış değildi. Aygıtta her seferinde tek bir parçacığın bulunduğu ilk çifte kesik deneyi ancak 1970'lerde gerçekleştirildi. Fakat işe yaradı. İki kesikle karşı karşıya olmalarına rağmen, peş peşe gelen elektronlar kesiklerin ardındaki ekranda yavaş yavaş bir iç içe geçme örüntüsü oluşturdular.

Tuhaftır, deneyde elektronun hangi kesikten geçtiğini ölçmek için bir aygıt yerleştirildiğinde iç içe geçme örüntüsü ortadan kayboldu. Başka bir deyişle ölçümler elektronun bir dalga olarak değil bir parçacık olarak tezahür etmesine neden oldu. Bu durum Schrödinger'in kedisinden çok çok uzaklara düşüyormuş gibi görünebilir; nihayetinde bir kedi elektrondan çok farklı bir hayvandır. Fakat peş peşe gelen deneyler kuantum parçacığını çok daha büyük boyutlara doğru itti.

Kuantum çifte kesik deneyi fotonlarla, elektronlarla, atomlarla, hatta 60 atomlu fulleren molekülleriyle gerçekleştirildi. Ortaya çıkan tuhaf iç içe geçme efekti hiç kaybolmadı; tabii parçacığın hangi kesikten geçtiğini görmek için bakmaya çalışmadığımız sürece. Bunu çok daha büyük nesnelere denemek için planlar yapıldı; bir virüsle, fulleren molekülünden bir milyon kez daha büyük bir şeyle. Deneyi kurmanın güçlükleri bir tarafa, bu noktada durmak için hiçbir esaslı sebep yoktu. Doğru koşullar sağlandığında, bir kedinin geçebileceği bir kesik açıldığında, gerçek bir kedinin bir elektron gibi davranamayacağını ileri sürerken yaslanabileceğimiz bir gerekçe yoktu.

Tabii ki gerçek bir kediyi görmenin, dolayısıyla hangi kesikten geçtiğini belirlemenin kolay olması dışında. Schrödinger'in düşünce deneyinde kutunun kapalı kalması gerekir; böylece kimse kediyi göremeyecek, hiçbir ölçüm gerçekleştirilemeyecek, süperpozisyon bozulmadan kalacaktır. Bu durum bizi zorlu bir soruya, Bohr'un her zaman kaçındığı bir soruya getirir. Ölçümü ne oluşturur? Schrödinger'in kedisi söz konusu olduğunda, ölçüm kutunun açılması mıdır? Yoksa ışık fotonlarının

kediye çarpıp geri dönmesi; böylece kedinin diri mi yoksa ölü mü olduğunu söylememizi sağlayacak bilgiyi bize aktarması mıdır? Yoksa bu fotonların gözlerimizden içeri girmesi midir? Yoksa bilinçli zihinlerimizin kedinin durumunu kaydetmesi midir? Bohr'un bu bulmacaya verdiği cevap, fizikçilerin bir ölçüm yaptıklarında, ölçüm yaptıklarını bildiği olmuştur. Fakat Schrödinger'in kedisi deneylerinin modern versiyonları, sürece daha fazla ışık tutmakta, bir kedinin aynı anda hem diri hem ölü olamayacağını açıklamaktadırlar.

## Şimdi Bakma

İçinde yaşadığımız klasik dünya ile atomların kuantum dünyası arasındaki sınır, bütün bu hikâyeyi var eden De Broglie dalgalarına kadar varmaktadır. Bir cismin momentumuna dayanan De Broglie dalga boyu, o cismin bir kuantum dalgası olarak tezahür edeceği ölçeği verir.

Çifte kesik deneyinde fulleren molekülünün yaklaşık 10-12 metre, yani bir metrenin trilyonda biri civarında bir De Broglie dalga boyu vardır. Kesikler arasındaki aralık bundan yaklaşık yarım milyon kere daha büyüktür; büyüktür, fakat ölçek olarak çok farklı değildir. Bu da sistemin, dalga davranışını ortaya koymaya uygun olduğu anlamına gelir. Bu durum yine Bohr'un, ölçüm aygıtı tercihinin hangi özelliğin tezahür edeceğine karar verdiği yönündeki iddiasıyla uyusmaktadır; fakat fulleren molekülünün tersine neden bir kedinin ya da bir insanın aynı anda iki yerde birden olamayacağına dair iki açıklama getirmektedir.

İlk sebep pratiktir. Örneğin bir duvar boyunca saatte birkaç km hızla yürüyen Schrödinger'in kedisinin yaklaşık 10-28 metre civarında bir dalga boyu olacaktır. Onun kuantumu, dalga benzeri davranışı, ancak benzer ölçekte bir ölçüm aygıtıyla gösterilebilir. Hiç böyle bir aygıt yaratmamış olduğumuz için kuantum davranışını algılayamayız. Bohr'un şemasına göre gündelik hayat, çevremizdeki her şeyin parçacık benzeri doğasını ortaya çıkaracak deneysel bir durumdur.

---

## KEDİLERLE HESAPLAMA

*Kuantum bilgisayarının ardındaki fikir devasa ölçekte hesaplamalar gerçekleştirmek için Schrödinger'in kedisi fenomenini kullanmaktı. Bildiğimiz bilgisayarlar elektrik depolamaya yarayan bir cihazın yüklü halini kullanarak ikili düzende bir rakamı, 0'ı ya da 1'i temsil ederler. Öte yandan kuantum bilgisayarlarıysa bir atomun halini kullanırlar. Atom normal durumundaysa 0'dır. Atoma fazladan biraz enerji verilmişse 1'dir. Fakat bir kuantum nesnesi olan atom aynı anda hem 0 hem 1 olmak gibi bir süperpozisyon durumunda bulunabilir.*

*"Dolaşıklık" denilen başka bir kuantum fenomeninin kullanılmasıyla süperpozisyon halindeki birçok atomun bir dizi haline getirilmesi, kuantum hesaplama araştırmacılarının bir dizi belirsiz rakam yaratmasını sağlamıştır; bu rakamlar bir dizi adımda olası bütün rakamlar üzerinde aynı anda hesaplamalar gerçekleştirir. Kuantum hesaplama görülmemiş ölçekte "paralel" hesaplamalar yapmanın bir yoludur. Kuramda her biri Schrödinger'in kedisi süperpozisyonunda bulunan sadece 250 atomdan oluşan dolaşık bir dizi, evrendeki atomlardan daha fazla sayıda rakamın şifresini çözebilir. Potansiyel büyüktür. Hükümetlerin ulusal güvenlik şifrelerini ilk kuantum bilgisayarını geliştirenlerden korumaya çalışmasında şaşılacak bir şey yoktur.*

*Tek bir sorun vardır. Dolaşıklığın ve süperpozisyonun doğası atomları enformasyon kaybetmeye*



*özellikle duyarlı hale getirmektedir; atomlar enformasyon kaybettiklerinde hesaplama durmaktadır. Araştırmacılar eşevresizliği biraz daha kavrayabilir ve neden hiç hem diri-hem ölü- kedi görmediğimizi biraz daha anlayabilirlerse bilgisayar çağında bir devrim başlatabilirler.*

---

“Klasik” olmamızın ikinci sebebiyse radyasyon salıyor olmamızdır. Mutlak sıfırdan, -273 dereceden daha sıcak olan herhangi bir şey fotonlar, ısıyı taşıyan enerji paketleri yayar. Deneyler bu radyasyonun nesnenin yerini belirlemede kullanılabileceğini, nesnenin hangi kesikten geçtiğini etkili bir biçimde ortaya koyacağını göstermiştir. Başka bir deyişle mutlak sıfırın üstündeki bir ısıda, Schrödinger’in kedisini kutuya kapatamazsınız; bu durum, gerçek dünyaya tercüme etmeye kalktığımızda bu düşünce deneyinin öncülünü geçersiz kılacaktır.

Bu deneyler çifte kesikten fulleren molekülleri fırlatarak gerçekleştirilmiştir. Fulleren molekülü kesiklere yaklaşırken ne kadar sıcak olursa, iç içe geçme örüntüsü o kadar bulanık olacaktır. Sıcak moleküller foton salar, salınmış fotonların enerjileri de ısıyla belirlenir. Yüksek ısı esasen yüksek enerji verir; De Broglie’nin terimleriyle bu da daha kısa dalga boyu anlamına gelir. Salınan radyasyonun dalga boyu ne kadar kısa olursa, salınan molekülün pozisyonuna karışması o kadar kolay olur. Başka bir deyişle, görüldüğü kadarıyla sıcak bir cisim hangi kesikten geçebileceğine dair daha fazla bilgi vermektedir.

Fulleren molekülleri kesiklere doğru giderken hava molekülleriyle çarpıştığında da aynı şey olur. Normalde, deneyler havası alınmış ortamda gerçekleştirilir, fakat hava çok iyi alınmamışsa ve fulleren molekülünün pozisyonuna hava moleküllerine ne yaptığını izleyerek müdahale edebiliyorsanız, iç içe geçme örüntüsü ortadan kaybolur. Molekülün hangi kesikten geçeceğini çıkarsamak mümkün hale gelirken, molekülün aynı anda her iki kesikten geçme becerisi ortadan kaybolmaya başlar. Kısmi olarak havası alınmış bir ortamda fulleren molekülü, biri, Schrödinger’in kedisinin içinde bulunduğu kutunun kapağını yarı açık bırakmış gibi davranmaya başlar; kediyi ölü ya da diri olmaya zorlar, aynı anda ikisi birden olmaya değil.

<>

Kuantum kuramı karşısında şok olmayan

biri, kuramı anlamamış demektir.”

**NIELS BOHR**



Dolayısıyla bir ölçüm oluşturması için bilginin bilinçli zihne girmesi gerekmez; sadece gözlem altındaki sistemden sızması gerekir. Öyle görünüyor ki Schrödinger'in kedisinin sağlığıyla ilgili bir bilgi akışı, onu mümkün olan iki halden birine girmeye zorlamak için yeterlidir. İnsanlar ve kediler söz konusu olduğunda, bu bilgi sistemden dışarı sızır, çünkü bedenlerimiz çevremizle çok çeşitli biçimlerde etkileşim kurar; ısı yayar, hava molekülleriyle çarpışır. Bedenlerimizin konumuyla ilgili bilgilere ulaşmak mümkündür; bu durum aynı anda iki yerde birden olamayacağımız anlamına gelir. Bilginin bu şekilde saçılmasına bilim insanları “eşevresizlik”[decoherence] der. Eşevresizlik öyle basit bir mesele değildir: Bize evrenin doğasını gösterebilir.

## Enformasyon ve Gerçeklik

Schrödinger'in kedisi muammasını inceleyen bilim insanları artık bunun, enformasyonun, gerçekliğin en temel unsuru olduğu yönündeki kavrayışa işaret edip etmediğini merak ediyor. Kuantum kuramı, Schrödinger'in talihsiz kedisinin suretinde, evrenin devasa bir enformasyon işleme makinesi olarak tanımlanabileceğini akla getiriyor. Bu durum olası açılımları da beraberinde getiriyor. Kuantum kuramında enformasyonun oynadığı rol, bizi en iddialı teknolojik projelerimizden birini geliştirmeye getirmiştir; bu da kuantum bilgisayarları denilen süper güçlü bir işlemci inşa etme çabasıdır (bkz. *Kedilerle Bilgi-İşlem*).

Fakat ne kadar güçlü olursa olsun, kuantum bilgisayarının, bir kedinin gerçekten aynı anda nasıl hem ölü hem diri olduğunu anlamamıza yardımcı olması pek muhtemel değildir. Bunun fiziksel gerçekliğin doğasının bir parçası olması fikri, insan zihni için gerçekten de kabul edilemez olmayı sürdürmektedir. Fiziği bırakmayan, bilim tarihinin en parlak fizikçilerinden biri olan Wolfgang Pauli haklıydı. Fizik anlaşılacak kadar karmaşıktır. Niels Bohr'un bir zamanlar dediği gibi “Kuantum kuramı karşısında şok olmayan biri, kuramı anlamamış demektir.”

Kuantum bilgisayarının ardındaki fikir devasa ölçekte hesaplamalar gerçekleştirmek için Schrödinger'in kedisi fenomenini kullanmaktı. Bildiğimiz bilgisayarlar elektrik depolamaya yarayan bir cihazın yüklü halini kullanarak ikili düzende bir rakamı, 0'ı ya da 1'i temsil ederler. Öte yandan kuantum bilgisayarlarıysa bir atomun halini kullanırlar. Atom normal durumundaysa 0'dır. Atoma fazladan biraz enerji verilmişse 1'dir. Fakat bir kuantum nesnesi olan atom aynı anda hem 0 hem 1 olmak gibi bir süperpozisyon durumunda bulunabilir.

“Dolaşıklık” denilen başka bir kuantum fenomeninin kullanılmasıyla süperpozisyon halindeki birçok atomun bir dizi haline getirilmesi, kuantum hesaplama araştırmacılarının bir dizi belirsiz rakam yaratmasını sağlamıştır; bu rakamlar bir dizi adımda olası bütün rakamlar üzerinde aynı anda hesaplamalar gerçekleştirir. Kuantum hesaplama görülmemiş ölçekte “paralel” hesaplamalar yapmanın bir yoludur. Kuramda her biri Schrödinger'in kedisi süperpozisyonunda bulunan sadece 250 atomdan oluşan dolaşık bir dizi, evrendeki atomlardan daha fazla sayıda rakamın şifresini çözebilir. Potansiyel büyüktür. Hükümetlerin ulusal güvenlik şifrelerini ilk kuantum bilgisayarını geliştirenlerden korumaya çalışmasında şaşılacak bir şey yoktur.

Tek bir sorun vardır. Dolaşıklığın ve süperpozisyonun doğası atomları enformasyon kaybetmeye özellikle duyarlı hale getirmektedir; atomlar enformasyon kaybettiklerinde hesaplama durmaktadır.

Araştırmacılar eşevresizliği biraz daha kavrayabilir ve neden hiç hem diri-hem ölü-kedi görmediğimizi biraz daha anlayabilirlerse bilgisayar çağında bir devrim başlatabilirler.

# ELMA NEDEN DÜŞER?

*Kütleçekim, kütle*

*ve görelilik muamması*

*Kütleçekim yüzünden düşer tabii ki. Bunu herkes bilir. Fakat kütleçekimin temel niteliği nedir? Kütleçekim, doğanın bilincinize işleyen temel güçlerinden ilki olsa da bu soruyu cevaplamak çok daha zordur.*

İşte size evde deneyebileceğiniz bir deney. Altı aylık bir bebeğe ihtiyacınız olacak (ödünç alabilirsiniz). Bebeğin oyuncaklarından birini, bir çingırağı oltaya bağlayın. Sonra oyuncağı tavandan sarkıtın; öyle ki olta gergin ve görünmez bir haldeyken oyuncak hafifçe bir sandalyenin üzerinde dursun. Sandalyeyi iterken bebeğin olup bitenleri izlemesini sağlayın. Gözünüz bebeğin gözlerinde olsun; çingırağın yere düşmemesi için ortada belirgin bir sebep yoktur; bebeğiniz çingırağa normalden daha uzun bir süre boyunca bakacaktır.

Psikologlara göre, bebekler şaşkınlıklarını böyle ifade ederler. Öyle görünüyor ki şaşırtıcı derecede küçük yaşlardan itibaren şeylerin desteklenmediğinde aşağı düştüğünü biliyoruz ve düşmezlerse hayrete kapılıyoruz. Victoria dönemi illüzyonistlerinin yaptığı kaldıraç numaralarının koca bir kuşağı kendinden geçirmiş olmasına şaşmamak gerek. Bir şeyler kütleçekimi oyuna getirdiğinde, ciğerimizin köşesi burulmuş gibi olur.

Gördüğünüz gibi kütleçekim bir tirandır. Oyuna getirilemez. Bir elektrik alanı ya da manyetik alanda yaptığımız gibi onu devre dışı bırakamayız. Karşısına bir karşıt güç de çıkaramayız; öyle görünüyor ki fizikte bizi kütleçekimi karşıtı bir güçle donatacak bir şey yoktur. Kütleçekim kuralı insan deneyimi açısından o kadar merkezi bir önemdedir ki esasen kütleçekimin varlığını unutmamızdır. Ancak yokluğunda –daha doğrusu belirgin yokluğunda– kütleçekimin her zaman var olduğunu hatırlarız.

Belki de bu yüzden bilim alanındaki ilk atılımlarımız kütleçekimi büyük ölçüde görmezden gelmiştir. Kütleçekim şimdi anladığımız biçimiyle, bir eylem tipi, bir insanın düşüşüne, bir okun uçuşuna, gezegenlerin hareketine hükmeder; fakat Aristo'nun ders kitabı *Physics* evreni yöneten evrensel bir güçten bahsetmemektedir. Aristo, Dünya'nın ağırlığı yüzünden nesnelerin Dünya'dan düşmediğini ileri sürmüştür, gelgelelim akıl yürütme biçimi sallantılıydı. Aristo Dünya'nın çekim gücünün bir nesnenin ne kadar büyük olduğuna ve neden yapılmış olduğuna bağlı olduğunu ileri sürmüştür.

Aristo'nun bakış açısına göre ağır nesnelere hafif nesnelere göre daha hızlı düşer. Bunun sebebi Yunanlıların elementlere yoğunlaşmış olmalarıdır; Toprak, Hava, Ateş ve Su. Aristo'nun bildiği ağır nesnelerin çoğunluğu, Toprak'ta bulunan malzemelerden oluşmuştu ve Toprak'a geri dönmek zorunda oldukları için güçlü bir çekim vardı. Bizim anlayışımız, 2000 yıl önceki bu kusurlu fikirden aslında pek de uzaklaşmış sayılmaz. Nihayetinde İtalyan bilim adamı Galileo Galilei, Aristo'nun hatalı olduğunu ortaya koymuştur: Ağır nesnelere Toprak tarafından daha güçlü bir biçimde çekilmez. Havanın direnci bir etken olmadığı sürece, biri ağır, diğeri hafif bir nesne aynı hızla düşeceklerdir.

Düşmek Kadar Kolay

Ne yazık ki Galileo'nun bununla ilgili kanıtlarına dair romantik hikâyeler –eğik Pisa Kulesi'nden

havan topları atması– doğru değildir (bu efsanenin kaynağı Galileo’nun öğrencisi Vincenzo Viviani’dır); fakat yine de bu durum çok daha seyrek değer bir biçimde kanıtlanmıştır. 1971’de Apollo 15’in astronotlarından David Scott ayın yüzeyine doğru bir çekiç ve bir şahin tüyü bırakarak bu keşfin köklü sonuçlarına saygı duruşunda bulunmuştur. Scott elindekileri bırakırken “Bugün buraya gelmiş olmamızın sebeplerinden biri Galileo adındaki bir beyefendidir,” demişti. Elbette ki çekiç ve tüy yere aynı anda inmiştir.

Scott’ın takdiri neredeyse doğrudur: Şaşırtıcıdır, ama gerçekten de aya ulaşmamızı sağlayan şey Galileo’nun 17. yüzyıldaki kavrayışından fazlası olmamıştır. Aradaki boşluklar Galileo’nun ölümünden yalnızca bir yıl sonra doğan bir adam tarafından doldurulmuştur: Isaac Newton. Doğduğunda hiç de etkileyici bir yönü olmayan Newton’ın –annesi yaklaşık “bir litrelik bir kaba” sığabileceğini söylemişti– dört yüzyıl sonra Apollo astronotlarının izleyeceği yolu çizebilmesi için gerekli bütün bilgileri toplayabilmesi yalnızca 20 yılını alacaktı. İşte tam bu sırada elma sahneye çıkacaktı.

Galileo’nun eğik Pisa Kulesi’nde yaptığı deneylerle ilgili hikâyelerin tersine, Newton’ın düşen bir elmanın karşısında kütleçekimle ilgili olarak yaşadığı vecd hali neredeyse kesinlikle doğrudur. 1666 yılıydı, yazın son günleriydi. Newton Lincolnshire’da Woolsthorpe Malikânesi’ndeki bahçesinde oturuyordu. Elma ağacı hâlâ oradadır, her sonbahar meyve verir.

Elma düşer, çünkü kütle denilen bir özelliğe sahiptir; Dünya da öyle. Newton’ın ileriye doğru attığı büyük adım, kütleyle sahip olan her şeyin kütleyle sahip olan her şeyi çektiğini söylemek olmuştu. Daha gencecikken, 23 yaşında oluşturduğu kütleçekim kanunu çekim gücünün bu iki kütleyle, aralarındaki mesafeye ve  $G$  olarak bilinen bir sabite bağlı olduğunu söylüyordu.

Aslında fizikçiler kütleçekim sabitine fazlasıyla aşinadır; Dünya’nın kütleçekim çekiminden kaynaklanan ivmeyi ifade eden küçük  $g$ ’den ayırmak için bu sabite “Büyük  $G$ ” derler. Fakat aşinalığına rağmen  $G$  aslında bütün temel sabitler içinde en az tanımlanmış olandır.

Başka bütün sabitler gibi,  $G$ ’nin büyüklüğü teorik argümanlarla değil, ölçümlerle öğrenilebilir.  $G$ ’yi ilk ölçen 1798’de İngiliz fizikçi Henry Cavendish olmuştur; Cavendish birbirlerine bilinen bir mesafede bulunan bilinen iki nesne arasındaki kütleçekimi ölçmüştür.  $G$  için bulduğu cevap  $6,754 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg} / \text{saniye}^2$ ’dir. Bugünse  $G$  resmen  $6,67428 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg} / \text{saniye}^2$ ’dir. Bu ölçümün belirsizliği yaklaşık 10.000’de birdir. Bunu başka temel rakamlarla ilgili olarak bildiklerimizle kesinlikle karşılaştırın, örneğin kuantum kuramında kullanılan Planck sabitiyle: Planck sabitinin belirsizliği 100 milyonda 2,5’tur.

$G$ ’yi doğru bir biçimde ölçmenin bu kadar zor olmasının iki sebebi vardır. İlki, bilinen fiziği kullanarak kütleçekim alanları belirlememizin imkânsız olmasıdır. Bu da herhangi bir ölçümün görünürdeki bütün nesnelerin etkisini dikkate alması gerektiği anlamına gelir. Bu da ölçümleri dış etkilere karşı akıl almaz derecede duyarlı hale getirir; iki laboratuvar ötedeki biri bürosuna koca bir kitap yığını getirdiği için, aygıtlarını yeniden ayarlamak zorunda kalan araştırmacılara dair hikâyeler anlatılır. İşte bu yüzden kütleçekim ölçümlerinin olağanüstü derecede duyarlı aletler kullanarak yapılmış laboratuvarlarda yapılması gerekir.

Kütleçekim sabitini ölçmekteki ikinci güçlük, kütleçekimin temel kuvvetlerin en zayıfı olmasıdır. Bütün gezegenin kütlesi onu aşağı çekiyor olsa da elma yere düştüğünde, nispeten küçük bir ivmeyle düşer. Kütleçekimin zayıf olduğuna ikna olmadıysanız –belki de paraşütle atlamışsınızdır ya da bir

lunapark trenine binmişsinizdir ya da korkutucu bir ivmelenme yaşamışsınızdır– buzdolabınızın kapısında güzel güzel duran mıknatısları bir düşünün. Koca gezegenin kütlesi onları da yere doğru çekmektedir; gelgelelim düğme büyüklüğünde, mıknatıslanmış bir demir, gezegenin çekimine direnebilir. Mıknatıslanma bir mıknatısın içindeki yüklü parçacıklar arasındaki elektromanyetik etkileşimden kaynaklanır. Ve bu kuvvet, parçacıkların arasındaki kütleçekim kuvvetinden 10-42 kat – yani bir trilyon trilyon trilyon trilyon kat– daha büyüktür. Bu yüzden de kütleçekim zayıftır:  $G$  şaşırtıcı derecede küçüktür. Ama neden? Kütleçekimin zayıflığı fiziğin temel gizemlerinden biri olsa da bunu açıklayabilecek bazı fikirlerimiz var. Bu fikirlerin en iyisi de kütleçekimin evrenimizin içine ya da dışına “sızıyor” olduğudur.

## Başka Bir Dünyadan Sızıntılar

Modern fiziğin çeşitli dalları uzayın aşına olduğumuz üç boyuttan (yukarı ve aşağı, sağ ve sol, ön ve arka) daha fazla boyuta sahip olduğunu söyler. Bunun sonuçlarından biri bazı kuvvetlerin bu fazladan boyutlara dağılarak “eriyebilecek” olmasıdır. Kütleçekim kuvveti zayıfsa bunun sebebi, diğer kuvvetlerden daha ince bir biçimde yayılmış olması olabilir.

“Fazladan” boyutların “sıkıştırılıp” çok küçük bir hale geldiği –esasen yuvarlandığı– bu yüzden de gündelik hayatımızda bu boyutları tecrübe edemediğimiz düşünülmektedir. Bu şimdilik sadece bir teoridir; fakat birkaç araştırmacı bu teoriyi doğrulayacak kanıtlar aramaktadır. Bir yol, iki nesne arasındaki kütleçekimin nesnelere arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmesinin incelenmesidir.





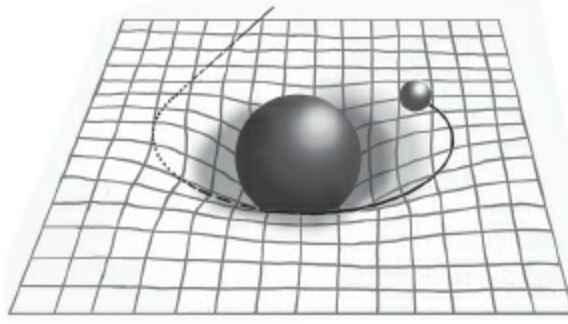
“Bugün buraya gelmiş olmamızın sebeplerinden

biri Galileo adındaki bir beyefendidir.”

**DAVID SCOTT**



Newton kütleçekimin “ters kare kanununa” uygun olduğunu göstermişti. Bu, bir nesnenin bir diğer nesne üzerine uyguladığı kütleçekimin aralarındaki mesafenin karesi nispetinde azaldığı anlamına gelir. İki nesneyi bir metre ayırıp aralarındaki kütleçekimi ölçün. Sonra birbirlerinden iki metre daha uzaklaştırıp aralarındaki çekimi bir kere daha ölçün. Birbirlerinden üç kat daha uzak oldukları için, aralarındaki çekim de dokuz kat zayıf olacaktır.



*KÜTLEÇEKİM UZAY-ZAMANDA BİR ÇARPILMADIR.*

Gizli boyutlar dünyamıza milimetre altı ölçeklerde girer. Kütleçekim bu çok küçük ölçeklerde, normalde olduğundan farklı davranıyorsa –kütleler birbirinden sadece bir milimetrenin birkaç binde biri kadar ayrı olduğunda ters kare kanunu geçerli olmuyorsa– bunun sebebi bu boyutların şeylere müdahale ediyor olması olabilir. Burada bir uyumsuzluk belirleyin; böylece en cüretkâr teorilerimizi destekleyecek bir kanıtınız olabilir.

Fizikçilerin mikroskobik ölçeklerde kütleçekimi araştırmak için son derece incelikli deneyler yürütmelerinin sebebi budur. Gelgelelim şimdiye kadar, ters kare kanununun çiğnendiğine dair hiçbir kanıt bulamamışlardır. Bu çok büyük bir utanç kaynağıdır; çünkü bu ileri, çok boyutlu teorilerin oynadığı rollerden biri de elimizdeki en iyi kütleçekim kuramını, Einstein’ın görelilik kuramını iyileştirmektir.

### Kütleçekim Görelidir

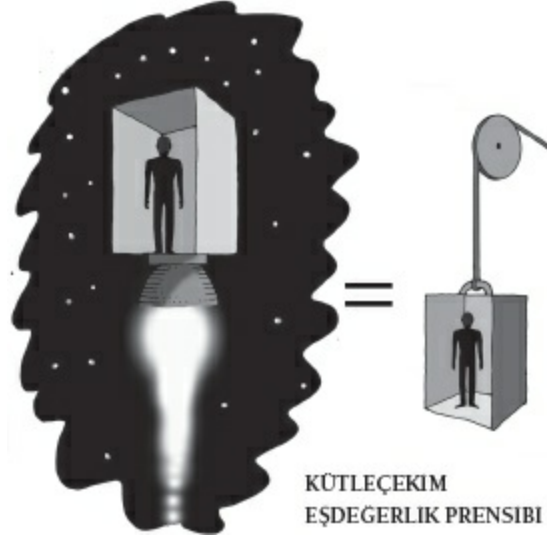
Einstein’ın görelilik kuramı uzay ve zamanı dört boyutlu bir doku olarak resmeder ve kütle ya da enerjinin varlığının bu dokuyu bükeceğini söyler. Newton’ın hareket halindeki cisimlerin bir kuvvet uygulanmadığı sürece düz bir hat üzerinde ilerleyeceğini söylediği noktada, Einstein bir büküm eklemiştir. Evet, cisimler uzayda düz bir çizgi halinde ilerliyordu; ama o uzaydaki herhangi bir bükülmeyi de izliyorlardı.

Örneğin Güneş’in kütesinin yarattığı bükülme, yakınlarda bulunan hareket halindeki bir gezegenin bükülmüş bir yörünge içine çekileceği anlamına gelir. Kütleleri ve hareket hızını dengelediğinizde bir yörünge elde edersiniz. Bu yüzden de Einstein’ın bakış açısına göre kütleçekim bir tür yanılmalıdır. Uzay ve zamanda etkili olan bir kuvvet gibi görünse de aslında daha çok manzaraya eklenmiş topografik özellikler –tepeler ve vadiler– gibi, belli yönlerde hareket etmeyi zorlaştıran, başka bazı yönlerde hareket etmeyi kolaylaştıran özellikler gibi hareket eder.

Ne kadar doğru olsa da, çok sayıda deneysel bulguyla destekleniyor olsa da bunun nihai cevap olmadığını biliyoruz. Bir bakıma Einstein bize sadece kütleçekimin *nasıl* işlediğine dair akıllıca bir tasvir sunmuştur. Neden sorusu hâlâ cevap beklemektedir. Gerçi ümit vardır. Şimdiki haliyle

görelilik kuramı, kuantum kuramıyla uyumlu değildir. Gelecekteki bir “kuantum kütleçekim kuramının” bu iki kuramı birleştirmesini beklememiz gerekiyor. Bu kuram da muhtemelen bize kütleçekimin nedenini verecektir; tıpkı kısa süre önce kütlelenin nedenini kavramaya yaklaştığımız gibi.

Şimdiye dek kütle hakkında neşeyle konuşup durduk, ama apaçık sorudan kaçındık. Bir şeyin kütleyle sahip olması ne anlama gelir?



Fizikçiler kütleyle iki farklı biçimde sınıflandırır. Biri “kütleçekimsel kütle”dir; yani kütleçekim alanlarını oluşturup bu alanlara cevap veren kütle. Elmanın düşmesine neden olan bu kütle. Diğeriyse “atıl kütle”dir; bir şeyi hali hazırda hareket ya da durma halinden uzaklaştırmakta çekilen zorluğun ölçüsüdür. Bozulmuş bir arabayı itmeye çalıştığınızda, kütlesi size karşı gelir.

Bilebildiğimiz kadarıyla atıl kütle ve kütleçekimsel kütle tümüyle birbirine eşdeğerdedir. Dünya’nın üzerinde, asansör gibi kapalı bir kutunun içinde durduğunuzu düşünün. Kütleçekimsel kütle kütleçekimin etkisine cevap verirken yerin itişini hissedersiniz. Şimdi de bu asansör kutusunu uzaya çıkardığınızı, kütleçekim alanlarından uzaklaştırdığınızı düşünün; bir de bu kutuya onu saniyede 9,81 metre ivmelendiren bir roket motoru taktığınızı düşünün. Bu, Dünya’nın yüzeyindeki kütleçekimden kaynaklanan ivmelenmeye eşittir.

Hissedişinizde hiçbir farklılık olmayacaktır; Einstein böyle der. Kütleçekim kütleyle atıl kütle arasında hiçbir fark olmadığını söyleyen bu “eşdeğerlik ilkesi” Einstein’ın genel görelilik kuramının köşetaşlarından biridir. Bunun kesinlikle doğru olduğunu gösteren belirgin bir kanıtımız olmasa da deneyler bunun en azından 10-12 oranında doğru olduğunu göstermiştir. Fakat Einstein genel görelilik kuramını yaratmadan on yıl önce kütle hakkında başka bir soru yöneltmiştir. 1905’te, özel görelilik kuramını yayınladığı o “mucizevi yılda” Einstein ilginç bir araştırma çizgisi yakalamıştı. Köşetaşı niteliği taşıyan bir araştırmasında bir cismin ataletinin enerji içeriğine bağlı olup olmadığını sormuştu.

## Ağırlığın Enerjisi

Dünyanın en ünlü denklemi olan  $E=mc^2$ ’nin kökeninde bu vardır (bakınız *Neden  $E=mc^2$ ?*). Einstein’ın bakış açısına göre enerji ve kütle yer değiştirebilirdi. Bunu söylemek neredeyse bir asır almıştır, ama artık enerjinin gerçekten de kütle kökeni olduğunu biliyoruz. Örneğin şu elmayı ele alalım. Elmanın kütlesi onu oluşturan bileşenlerde bulunmaktadır. Ölçekte biraz daha aşağıya inerseniz, bu bileşenler moleküllerdir; moleküller atomlardan, atomlar elektronlardan, protonlardan ve

nötronlardan oluşur.

Elektronun kütesinin kökeni (proton ve nötronun kütesinin binde birine eşittir) gizemini korumaktadır. Fakat fizikçiler en azından protonlar ve nötronların kütlelerini anlamaya başlamışlardır. Bu parçacıkların her biri kuark denilen üç parçacıktan oluşmuştur. Fakat kuarkların kütleleri protonlar ve nötronların kütesinin yaklaşık % 1'ini oluşturabilir. Kütlelerinin geri kalanı gölgelerin içinden, enerji çalan “sanal parçacıkların” kuantum dünyasından gelir.

Aşağıda, kuantum ölçeğinde, kurallar gündelik hayatta karşılaştığımız kurallardan çok farklıdır. Burada “Heisenberg’in belirsizlik ilkesi” denilen bir fenomen hüküm sürer ve tuhaf fermanlar buyurur. Bunlardan biri hiçbir şeyin kesin bir miktarda enerjiye sahip olmamasıdır; bu enerji sıfır bile olsa. Bunun yerine enerji sıfır civarında salınır, görünürde boş olan uzayın –fizikçilerin ‘boşluk’ dediği şeydir bu– beliren ve kaybolan parçacıklarla dolmasını mümkün kılar.

Bu parçacıklar çiftler halinde belirir: Bir parçacık ve karşıt parçacığı, boş uzayın boşluğunun enerjisi sıfır civarında salınırken yaratılır. Fiziğin “kuantum kromodinamiği” denilen, Nobel Ödülü kazanmış bir dalına göre parçacıklar çeşitli miktarlarda enerjiyle belirebilir; böylece bir karakterler yelpazesinde ortaya çıkabilir. Kimi zaman fizikçilerin “glüon” diye bildikleri bir biçimi alacaklardır. Glüonlar güçlü nükleer kuvvet olarak bilinen bir kuvveti yaratırlar; güçlü nükleer kuvvet kuarkları bir arada tutarak bir protonun ya da nötronun oluşmasını sağlar. Elmaya kütesinin büyük bölümünü veren de glüonlardır, yani glüonların enerjisi. Bu sanal parçacıkların tümünün enerjisinden tam olarak ne kadar kütle ortaya çıktığını hesaplamak kolay olmamıştır; 10.000 trilyon rakamla ezici kombinasyonlar kurulması gerekmiştir. Fakat sonuçlar belli olduğunda, elde edilen sonuçların bu parçacıkların deneysel olarak kaydedilmiş kütlelerinden % 1-2 sapma gösterdiği bulunmuştur.

Glüonlarla ilişkilendirilen, Einstein’ın  $E=mc^2$  formülüyle çevrilen enerji bir proton ya da nötronun kütesinin neredeyse tamamını oluşturur. Çok az şey kaybolur: Gizemli elektron kütesi, sanal kuarklar ve karşı kuarklar, Higgs bozonu gibi daha sanal bazı parçacıkların katkıları (bkz. *Tanrı Parçacığı Nedir?*). Fakat esasen elmanın kütesi –ve Dünya’nın kütesi– boş uzayın boşluğunun içerdiği enerjinin bir tezahürüdür.

Kuantum kromodinamiğinin kütlelerin kökenini ortaya çıkarmaktaki başarısı fizikçilere, benzer fikirlerin bizleri nihayetinde kütleçekimin nihai nedenine götüreceği umudunu vermiştir: Bu neden gravitondur. Elektrik kuvveti ve manyetik kuvvet, foton denilen enerji paketlerini deşış tokuş eden atomlar yoluyla tezahür eder. Güçlü nükleer kuvvet, daha önce de görmüş olduğumuz gibi glüonlar yoluyla gelir. Zayıf nükleer kuvvetinse W ve Z bozonları olarak bilinen enerji yüklü parçacıkların alınıp verilmesi sonucu oluştuğu bilinmektedir. Bunların hepsi deneylerle görülmüştür. Kütleçekimin “graviton” olarak bilinen parçacıkların alınıp verilmesine bağılı olduğu düşünölmektedir. Fakat bütün bunlar hâlâ birer varsayımdır. Anlayışımızın kaydettiğı bütün ilerlemelere rağmen, hâlâ bir graviton görebilmiş değiliz.

Ne var ki kütleçekimle ilgili olarak varlığını sürdüren tek sorunumuz bu değildir; çok daha utanç verici ve temel bir mesele henüz çözüme kavuşturulmamıştır. Tuhaf görünebilir; en dahi beyinleri, en büyük bilgisayarları, fiziğin en büyük kuramlarını kullanarak kütlelerin kökeni üzerine çalışmış olsak da kütleçekimin üzerinde etkili olduğu şeyi, yani kütleyle ölçmenin iyi bir yolunu henüz bulabilmiş değiliz. Başka bütün standart ölçüm birimlerinin kesin, atomik bir temeli vardır. Saniye sezyum atomunun belli sayıdaki salınımına dayanır. Metre, ışığın bu saniyenin belli bir bölümünde aldığı

mesafedir. Fakat kilogram Paris'te bir mahzende saklı tutulan bir metal külçesinin kütlesidir.

## Değişen kilo

Tabii burası öyle eski bir mahzen değildir: Paris yakınlarındaki Uluslararası Ağırlık ve Ölçüm Bürosu'nun kutsal duvarlarının arkasında bulunmaktadır. Kilogram öyle eski bir metal de değildir: Eldeki en istikrarlı, en bozulmaz madde olarak seçilmiş platinden yapılmış bir silindirdir. Diğer bütün kilogramlar, bu platin silindirin kütlesine göre ayarlanır. Sorun şudur ki bu silindirin kütlesi değişmektedir. Metrologlar bu platin silindirin onlarca kopyasını çıkarmışlardır, orijinal silindir artık eski ağırlığında değildir. Eski ağırlığıyla arada yaklaşık 100 mikrogramlık bir fark vardır; bu da kabaca bir-iki çimdik tuzun kütlesine eşittir. Araştırmacılar atomik ölçümleri kullanarak kilogramı diğer standartlara uygun hale getirmenin yollarını aramaktadırlar. Bir umut, belirlenebilir sayıda atom içeren cilalanmış bir silikon küre yapmaktır. Böylece kilogram belli sayıda silikon atomunun kütlesi olarak tanımlanabilecektir.

Bir başka olasılıksa, kütleyi enerji terimleriyle ölçmek için Watt dengesi denilen bir şeyi kullanmaktır. Einstein kütle ile enerjinin yer değiştirebildiğini söylemişti; Watt dengesi bunu hatırlatır ve titiz bir biçimde yapılandırılmış bir elektromanyetik alanın içerdiği enerjinin ne kadar kütleye karşılık geldiğini ölçer. Fakat bu planlar meyve verinceye dek Newton'ın formülüne hafifçe yanlış rakamlar sokuşturmaya takılıp kalmış durumdayız.

Kütleçekim bizim her şeyimizdir; parçacıkları bir araya getirip Dünya'yı oluşturur, bizi hayat veren Güneş'imizin yörüngesinde tutar, hayatın oluşmasını ve karaya çıkmasını mümkün kılan dalgaları yaratır. Şimdi de bize yapılmış bu iyiliğin karşılığını ödüyor; kütleçekimine takılmış zihinlerimizi bu çekimin niteliğine dair olağanüstü keşifler yapmakta kullanıyoruz. Fakat şu da var, onu ölçebilmek için elimizde sadece ilkel bazı aletler var. Elmanın içindeki atomların nükleer yapısındaki glüonlardan bahsettiğimizde, elmanın ağırlığının ne kadar çektiği konusunda kesin bir şey söyleyemeyiz. Kütleçekimin özü ele geçmezliğini koruyor ve bu ele geçmezlik hâlâ zevk veriyor.

# KATILAR GERÇEKTEN

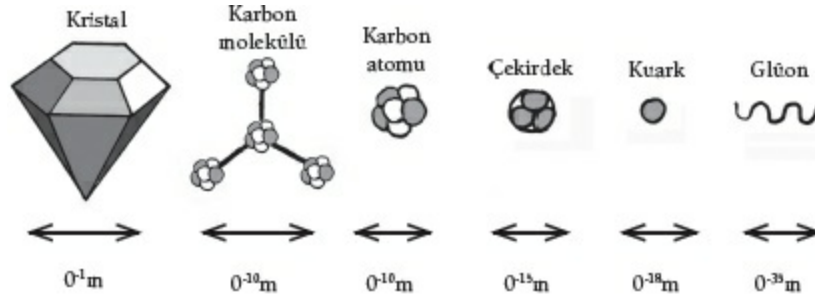
# KATI MIDIR?

*Atomlar, kuarklar ve parmaklarınızın arasından kayıp giden katılar*

*Dünya, tümüyle gazdan yapılmış olsaydı biz var olamazdık. Bedenlerimizin örgütlenme biçimi, bilginin DNA'nın yapısında saklanma biçimi, beyinlerimizin bilgiyi işleme ve tutma biçimi; bunların hepsi de atomların serbestçe etrafta dolaşmasını değil, yerli yerinde durmasını gerektirir. Hayat, en azından bildiğimiz biçimiyle hayat, katılık gerektirir. İyi de katı nedir?*

Gaz bir madde, aralarında hiç bağ olmayan ya da çok zayıf bağlar bulunan atomların ya da moleküllerin bir toplamıdır. Sıvı maddede parçacıklar arasındaki bağlar zayıftır, parçacıkların birbirlerinin üzerinden kayıp geçmelerini mümkün kılar. Oysa katı bir maddede parçacıklar güçlü elektrostatik bağlarla bir arada tutulur. Fakat bu bir katıyı katı yapmak için yeterli değildir. Elinizi yüzünüzün önüne getirin. Yeterince katı görünüyor, öyle değil mi? Fakat nötrinolara, evreni dolduran atom altı parçacıklara göre bedeniniz katı olmaktan çok uzaktır. Her saniye içinizden, bedeninizin tek bir atomuyla bile etkileşim kurmaksızın trilyonlarca nötrino geçer. Bilimsel ilerleme, katı maddemizin büyük bölümünün boş olduğuna açıklık getirmiştir. Birbirlerinin içinden geçmek gibi hayali bir güce sahip olan katı maddeler bile geliştirdik. Deneysel bilim bize “katı” kavramının en iyi ihtimalle kaygan olduğunu öğretiyor.

## ELMAS VE ONU OLUŞTURAN UNSURLAR



Katı atomik madde kütlelerinin bir başka örneği olan beynimiz bunu deneylerimizden bile daha derin bir düzeyde araştırma becerisine sahip olabilmiştir. Bu noktada herhangi bir kesinliğe ulaşılmış olmasa da geliştirdiğimiz en iyi anlayış bizi dikkat çekici bir sonuca getirmektedir: Katı madde diye bir şey yoktur. Her bir madde parçası esasen uzay ve zamanın enerjisindeki rastgele bir akışın sonucudur. Katılık kökeni itibarıyla bir yanılsamadır.

Bunu araştırmak için aşına olduğumuz katı bir maddeyle işe başlayalım. Güvenilir bir şeyle, güçlü bir şeyle. Elmas, sınamaya uygun bir katı gibi görünüyor. Doğal yollarla oluşması en zor maddedir; ayrıca en sert metallerin bazılarını kesmek için kullanılır. Elmas ne kadar katıdır? Elması özellikle sertleştiren şey molekül yapısıdır. Karbon atomları katı bir tetrahedral düzenlemeyle birbirine bağlanmıştır; birbirlerine 10-10 metre uzaklıktadırlar. Bu bağları oluşturanlar, atomun en dışındaki elektronlar olduğundan bunun kabaca atomun büyüklüğü olduğunu işitmek kulağa hiç de şaşırtıcı gelmeyecektir. Fakat bu elması gerçekten katı yapmaya yetmez. Atomik yapının tuhaf dünyasını incelememizin zamanı gelmiş bulunuyor.

Bu soruya eğilen ilk bilim insanının, Demokritos olduğu düşünülür genellikle. Demokritos aslında bilim insanı olmaktan ziyade Yunanlı bir filozoftu; fakat maddenin doğasıyla ilgili bilimsel bir



tahminde bulunmuştı. Bir noktaya kadar bütün maddenin parçalanabileceğini, ama bundan sonra parçalanamayacağını ileri sürmüştü. En temel seviyede *atomos* kavramı vardı, atom sözcüğünü bu kavramdan çıkarmış bulunuyoruz. Demokritos'un bakış açısına göre, *atomos* herhangi bir biçimde bölünemeyecek, parçalanamayacak ya da değiştirilemeyecek parçacıklardı.

Sanayi devriminin ilk dönemlerine dek, durum gerçekten de böyleydi. Teleskop devri açılmıştı, gökleri incelemeyi öğrenmiştik; ama maddenin kökenine inme konusunda hiçbir ilerleme kaydedememiştik. İşte bu yüzden, maddeyi atomik ölçekte etkileyecek aletlere ihtiyaç duyduk.

## Atomun İçi

Atomun incelenmesi konusunda atılımda bulunan İngiliz öğretmen John Dalton oldu. 18. yüzyılın sonlarına doğru Dalton, tek tek bütün elementlerin benzer atomlardan oluşan topluluklar olduğunu ileri sürdü. Bütün bu atomlar aynı özelliklere sahiplerdi. Dalton'a göre kimyasal reaksiyonlar iki farklı türde atomu birleştirip kimyasal bir molekül oluşturmalarını sağlıyordu. Dalton fikirlerini, bazı maddelerin, örneğin karbondioksitin içindeki elementlerin oranını belirleyen kimyasal deneylerle destekliyordu; karbondioksit bir parça karbondan, iki parça oksijenden oluşuyordu.

Atom kavramı sanayi devriminin süreçlerine de işledi, termodinamiğin öncülerinin gaz basınçlarını ve ısı aktarım oranlarını incelemelerini sağladı; bu incelemeler makinelerin yükselişinde itici güç oldu. Fakat bu dönemlerde, bir atomun içine girmenin mümkün olup olmayacağı konusunda henüz bir bilgimiz yoktu. Britanya İmparatorluğu zamanında, buharlı trenlerin ve ağır sanayileşmenin devrinde atom bilimi, Yunanlıların bölünemez bir özün varlığını öngören fikirlerinden pek de uzaklaşmış değildi.

<>

“Sanki bir parça peçeteye 30 santim çapında bir top

atmışsınız da geri dönüp size çarpmış gibi.”

**ERNEST RUTHERFORD**



Fakat hemen hemen eş zamanlı gelişmeler bu durumu değiştirdi. İngiliz fizikçi Joseph J. Thompson'ın araştırmaları onun “yuvar” dediği parçacıkların varlığını ortaya çıkardı; yuvarlar negatif yüklüydüler ve en hafif atomlardan 2000 kere daha hafiftiler. Bu keşifle birlikte nihayetinde atomdan daha küçük bir şey bulmuştuk; artık buna elektron diyoruz.

1904'e gelindiğinde Thompson atomların birbirine karışmış artı ve eksi yüklü parçacıklardan oluştuğunu, bunun da “erik pudingine” benzer bir yapı oluşturduğunu ileri sürüyordu. O sıralarda Paris'te Pierre ve Marie Curie ile Henri Becquerel radyoaktiviteyi keşfettiler. Onların birbirini izleyen araştırmaları, radyoaktivitenin en azından bir bölümünün atomlardaki yüklü parçacıkların salınmasından kaynaklandığını gösteriyordu. Bu arada Yeni Zelandalı Ernst Rutherford İngiltere'ye gelmiş bulunuyordu. Rutherford, sadece 20-30 yılı alacak araştırmalarla atomun derinliklerine doğru binlerce yıldır olmadığı kadar fazla ilerleyecek; çok büyük yollar kat edecekti.

Herhalde Rutherford'un en büyük keşiflerden biri, Thompson'ın “erik pudingi” atom modelinin tümüyle yanlış olduğuydu. Rutherford incecik bir altın yaprağına artı yüklü alfa radyasyon parçacıkları –elektronları alınmış helyum atomları– ateşlemişti. Alfa parçacıklarının hemen hepsi yapraktan geçmişti. Fakat bazıları ciddi biçimde hasar almıştı. Hatta birkaçı ateşleyiciye geri çarpmıştı. Bu durum Rutherford'u şoke etmişti. “Sanki bir parça peçeteye 30 santim çapında bir top atmışsınız da geri dönüp size çarpmış gibi,” diye yazmıştı deney sonrasında.

## Nükleer Bomba

Rutherford'a göre bu olağandışı sonucun bir tek açıklaması vardı. Öyle anlaşılıyordu ki artı yüklü helyum atomlarının pek azı, doğrudan, bir artı yük yoğunlaşmasına doğru ateşlenmişti ve güçlü bir biçimde geri tepmişlerdi. Atomun hacminin büyük bölümü boş uzaydı. Fakat bütün pozitif yük ve neredeyse kütlenin tamamı merkezde bulunuyordu. Rutherford atom çekirdeğini keşfetmişti.

Bir atomun boş olmasını kavramak güçtür; atomun boş olması katılık yanılsamasına dair bize ilk ipucunu verir. Rutherford atomun içindeki çekirdeğin “Albert Hall'daki bir sineğe benzediğini” söylüyordu. Rutherford'un çevresindeki diğer isimler atom çekirdeğine “katedraldeki sinek” diyordu. Neresinden bakarsanız bakın devasa bir boşluktu bu. Atom çekirdeğini küçük bir elma büyüklüğünde alırsak atomun, eksi yüklü elektronların dış yörüngeleriyle tanımlanan kenar çapı 3 kilometre olur. Bu arada her elektron da bu cümlelerin sonundaki noktadan daha küçük olur. Boşluğa başka bir biçimde de bakabiliriz. Atomlardaki boş uzayı çıkarırsanız, hidrojen çekirdeklerini aralarında hiç boşluk kalmayacak şekilde bir peninin hacmine sığdırırsanız peni büyüklüğünde, 30 milyon tondan daha ağır bir nesne elde etmiş olursunuz.

## ELEKTRON KUTSAL MIDIR?

*Fizik tarihi maddenin temel parçacıklarını bulma yönündeki umutlarımızın aldığı bir dizi darbeyle uğraşmıştır. Bir atomun bölünebileceğinin keşfedilmesi, bunun ardından çekirdeğin ve onu oluşturan parçacıkların keşfedilmesi bizi katılık muammasının daha da derinlerine götürmüştü. Temel olduğu düşünülen bir şey atomun negatif elektrik yükü, elektrondur. Fakat burada bile artık şüpheler vardır.*

*1998'de üç fizikçi, elektronun üç parçaya ayrılmış gibi davranabileceğini gösterdikleri için Nobel Fizik Ödülü'nü aldılar. Elektronun gerçekten bölünüp bölünmediği henüz açıklık kazanmış değildir, fakat elektron başlı başına bir gizemdir zaten. Örneğin elektronun kütlelerinin nereden geldiğine dair hiçbir fikrimiz yok. Protonların ve nötronların bölünebileceğini, kütlelerinin nihayetinde kuantum dalgalanmalarından geldiğini bulduğumuz için iş elektronun katılığında geldiğinde bütün iddialar havaya uçmaktadır.*

### Çekirdeğin İçi

Hidrojen en hafif element olarak, olabilecek en basit çekirdeğe sahiptir; çekirdeğinde tek bir artı yük, yani proton vardır. Fakat genel olarak çekirdekte protondan fazlası vardır. Örneğin incelemekte olduğumuz karbon atomlarının çekirdekleri çok daha karmaşıktır; nötron denilen yüksüz parçacıklardan yarım düzine kadar içerirler. Hidrojen dışında bütün atomlarda nötron vardır. Protondan birazcık daha ağır olan nötron 1930'ların başında Liverpool Üniversitesi'nde James Chadwick tarafından keşfedilmiştir. Karbonun altı protondan ve ilgilenmekte olduğunuz "izotopa" bağlı olarak yedi veya sekiz nötrondan oluşan bir çekirdeği vardır.

<>

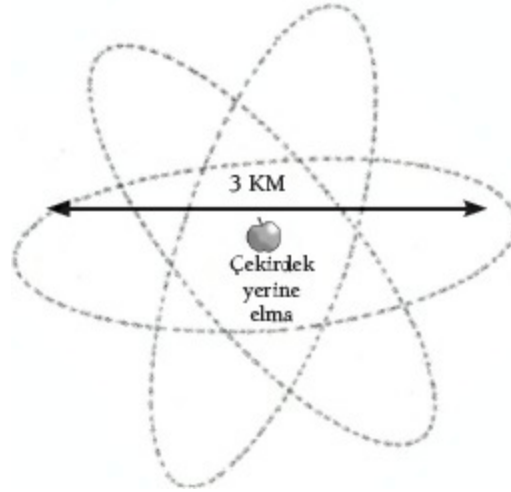
Rutherford atomun içindeki çekirdeğin

“Albert Hall’deki bir sineğe benzediğini” söylüyordu.



Peki, burada bir katılık var mıdır? Rutherford protonun çapının yaklaşık 10-15 metre olduğunu bulmuştur. Nötron da hemen hemen aynı büyüklüktedir. Atom çekirdekleri atomun boşluğunu yansıtmaz. Karbon çekirdeği, içindeki bütün parçacıkların sımsıkı bir araya getirilmesi halinde olacağından daha büyük değildir. Daha büyük çekirdekler, çekirdeğin içindeki sıkı toplanmayı daha açık bir hale getirir. 238 parçacık içeren uranyum çekirdeğinin çapı sadece 14 proton genişliğindedir; daha ziyade 238 pinpon topuyla doldurulmuş bir basketbol topuna benzemektedir.

Bu keşifle birlikte fizikçiler, maddenin özündeki katılığa dair bir kavrayışa ulaşmışlardır. Fakat bir süreliğine: İşler kısa süre sonra yeniden kaygan bir hal almış, aşağıya doğru inen bir döngüye kapılmamıza neden olmuştur; öyle ki bu döngü bize bugün evrende hiçbir şeyin katı olmadığını söylemektedir. Sorun şudur ki artı elektrik yüküyle dolu olan çekirdeğin bir bütün halinde durmaması gerekir. Bir karbon çekirdeğindeki protonların birbirini itmesi gerekir.



ATOMUN BOŞLUĞU

Bu da başka bir kuvvetin iş başında olduğu anlamına gelir. Fizikçiler buna “güçlü” nükleer kuvvet demektedirler; çünkü bu kuvvetin itici elektromanyetik kuvvetin üstesinden gelebilecek kadar güçlü olması gerekmektedir. Güçlü kuvvetle ilgili araştırmalar yürütmek, fizikçilerin proton ve nötronun ya da toplu halde tanındıkları biçimiyle nükleonun özelliklerine dalmalarını gerektirmiştir. Nükleonların temel, bölünmez parçacıklar olmadıklarını; üç “kuark”tan oluştuklarını keşfetmişlerdir.

### Kalpdeki Kuarklar

“Kuark” ismi 1964’te fizikçi Murray Gell-Mann tarafından seçilmiştir; Gell-Mann James Joyce’un *Finnegan’s Wake* adlı romanında “Muster Mark için üç kuark” satırlarını okuduktan sonra “kuark” sözcüğünü seçmiştir. Kuarkın ömrü varsayımsal bir parçacık olarak başlamıştır; Gell-Mann’dan ayrı olarak Rus-Amerikalı fizikçi George Zweig da bu parçacığın varlığını öne sürenlerden biri olmuştur (o bu parçacığa “as” demek istemiştir). Her ikisinin de iyi bir tahminde bulunduğu anlaşılırsa da bunun kanıtlanması biraz zaman almıştır.

Fizikçiler bu ölçekteki maddeyi ancak atomaltı parçacıkları hızlandırıcılarda ezerek görebilirler. Çarpışmalar daha küçük parçacıklar da yaratır; bu parçacıkların yüzen varlıklarının, çarpışma yerindeki hızlandırıcının duvarlarına yerleştirilmiş detektörlerde bıraktıkları izlerden çıkarsanması gerekir. İlk kuarklar 1968’de Stanford Lineer Hızlandırıcı Merkezi’nde yapılan çarpışmalarda



belirlenmiştir. Varsayılan bütün kuark parçacıklarının görülebilmesi içinse bir yirmi yılın daha geçmesi gerekmiştir. Fakat artık kuarkların ekzotik isimler taşıyan altı “çeşidi” olduğunu biliyoruz: tuhaf, çekici, üst, alt ve daha yaygın olan yukarı ile aşağı.

Protonlar iki yukarı, bir de aşağı kuarktan oluşur; nötronlar iki aşağı kuark bir de yukarı kuarktan. Fakat katılığı ortadan kaldıran üst kuark olmalıdır. Üst kuark hesaplanamayacak derecede ağırdır. Neredeyse bir altın atomuyla aynı ağırlıktadır; parçacık hızlandırıcılarımızın ancak 1995’te bir üst kuark yapabilmiş olmasının sebebi de budur. Parçacık hızlandırıcılar  $E=mc^2$ ’yle yönetilir, böyle bir kütle yapabilmeleri de epeyce enerji gerektirir.

Bir altın atomu 79 proton, 118 nötron içerir. Bu toplam yaklaşık 600 yukarı ve aşağı kuarka eşittir. Nasıl olur da tek bir üst kuark bunların tamamına eşit olur? Kuarkların doğasındaki bir şey, bir araya gelme biçimleri kütlelerin doğasında bir gizem olduğunu düşündürüyor. Kuantum kromodinamiği adındaki bir kuram bunu açıkça ortaya koyuyor. Bu kuram protonları ve nötronları oluşturan aşağı ve yukarı kuarkların bu parçacıkların kütlelerinin sadece yüzde 1’ini açıkladığını gösteriyor. Geri kalanlar,  $E=mc^2$ ’nin de gösterdiği gibi, kuarkları birbirine bağlayan enerjide bulunmaktadır. Bu, “güçlü” nükleer kuvvettir.

### Boşluğun Enerjisini Anlamak

Kuantum kromodinamiğine göre, güçlü kuvvetin kökleri kuantum mekaniğinin belirsizlik ilkesinde yatmaktadır (bkz. *Her Şey Nihayetinde Rastlantısal mıdır?*). Bu ilke ölçülebilen her şeyin aslında kesin olarak tanımlanmış bir değeri olmadığını söyler. Bu ilke boş uzay için bile geçerlidir: Boş uzayın kesin olarak sıfır enerjisi olamaz. Sonuçta boş uzayın dalgalanan fakat sonlu miktarda bir enerjisi vardır.

Bu dalgalanan enerji, glüon denilen parçacıklar halinde tezahür eder; kuarkları bir arada tutan güçlü kuvveti yaratan da glüonlardır. Bu yüzdendir ki elinizde bir elmas tuttuğunuzda ağırlığını hissedersiniz. Fakat elmasın kütlesi olarak hissettiğiniz şey aslında, her karbon atomunun protonlarını ve nötronlarını oluşturan kuarkların ağırlığını yaratan, değişen, dalgalanan enerji alanıdır. Bir anlamda o elmas, nesnelere en katısı, nihayetinde kalıcı bir varlığa sahip değildir. Elinizde dururken olup biten tek şey, bir enerji dalgalanmaları sürekliliğinin katılık olarak tezahür etmesidir.

### Kaygan Katılar

Katılığın esnek kurallara tabi olduğunun anlaşılması karşısında belki de şaşırmamız gerekiyor. Nihayetinde katılar ancak belli koşullarda katıdır. Bir buz küpünü ısıttığımızda bir su gölü elde edersiniz. Moleküllerin asli doğası değişmemiştir; yalnızca çevre koşulları moleküller arasındaki bağların gücünü değiştirmiştir. Aynı şey, ısıttığımızda suyun buhara dönüşmesinde de geçerlidir. Bu durumda moleküller arasındaki bağlar kaybolmuştur, ama yine de moleküllerin kendileri değişmemiştir.

Isı yelpazesinin öbür ucunda yeni bir tür madde de yaratabiliriz. Bazı maddeleri soğuttuğumuzda yeni bir tür madde yaratabiliriz. Maddenin katı, sıvı ve gaz hallerine “Bose-Einstein sıkışması” olarak bilinen hali de ekleyebiliriz. Bose-Einstein sıkışması ancak son derece düşük ısılarla gerçekleşen radikal bir dönüşümün bir sonucudur. Isı özü itibarıyla bir nesnenin “verebileceği” enerji miktarının bir ölçüsüdür. Çok düşük ısılarla bir madde bütün enerjisinden sıyrılır, bu yüzden pek hareket edemez. Fakat kuantum kuramı bir nesnenin momentumunu ne kadar aşağıda kesinlemeye

çalışırsanız –bu durumda sıfıra yakındır– nesnenin pozisyonundaki belirsizliğin o kadar fazla olacağını buyurur. Dolayısıyla Bose-Einstein sıkışması durumunda bütün parçacıkların belirsiz bir pozisyonu vardır. Aslında bütün parçacıklar birbirleriyle örtüşür; birleşerek devasa bir atoma benzeyen tek bir büyük kuantum nesnesi meydana getirirler.

Bu durumda her türden tuhaf davranış ortaya çıkar. Niyobyum metali Bose-Einstein sıkışması haline girdiğinde, kuantum kanunları bu metali elektrik akımını, normal metallerde elektrik akımlarıyla ilişkilendirilen hiçbir dirence maruz kalmadan taşıyan bir “süperilekene” çevirir. Örneğin helyum atomları Bose-Einstein sıkışmasına girdiğinde, benzer bir şey olur: Bu “süperakışkan helyum”la dolu bir fincanı karıştırın, fincanın içinde oluşan dönüş sonsuza dek devam edecektir. Daha da tuhafı süperakışkan helyum kabın kenarlarından yukarıya doğru uçarak yerçekimine meydan okuyabilir. Helyumu katı hale getirin; bu durumda atomları bir araya gelip bir kristal oluşturacak, tuhaflıklar da daha beter bir hal alacaktır.

Katı helyum elde etmek o kadar kolay sanmayın. Helyumu sıvı hale getirmek için mutlak sıfırın 4 derece altında ya da üstünde soğutmanız gerekir. Sıvıyı katıya çevirmek içinse atomları birlikte ezmeniz gerekir: Sıvının mutlak sıfırın 1 derece altı ya da üstünde soğutulması, sonra da normal atmosfer basıncınının 25 katı bir basınçta sıkıştırılması gereklidir. Fakat bu noktaya geldiğinizde evrendeki en tuhaf katıyla karşılaşacaksınız.

Katı helyumdaki atomlar arasındaki bağlar son derece zayıftır. Aslına bakarsanız o kadar zayıftır ki atomlar parçalanabilir. Bu durum kristalin içinde “boşluk” olarak bilinen şeyi meydana getirir. Fizikçiler uzun zamandır, bu boşlukların kendi başlarına ayrı parçacıklar olarak ele alınabileceğini bilmektedirler. Bu boşluklar, gerçekten de biraz farklı özelliklere sahip birer atom gibidir. Örneğin bir maddenin elektrik iletme biçimini değiştirebilirler; yarı iletkenler, sırf boşluklar yüzünden, sahip oldukları özelliklere sahiptir. Trilyonlarca dolar değerindeki elektronik sektörü boşlukların özelliklerine dayanmaktadır.

Kuantum mekaniğinin kanunları, ultra soğuk bir helyum kristalinin içinde, yapıdaki bütün boşlukları birbirine kilitleyip boşluğa dayalı bir Bose-Einstein sıkışmasının oluşmasını sağlayacaktır. Atomların da birbirine kilitlemesiyle helyum kristali iki “süper katı” haline gelir. Doğru deneysel koşulları sağlarsanız, bu “süper katılar” doğruca birbirlerinin içinden geçebilir. Teoride, doğru koşullar sağlandığında herhangi bir katı kristali böyle davranacaktır.

Bunun için boşlukların oluşması bile gerekmez: Bazı maddelerde, serbest bırakılmış bütün atomları birbirine kilitleyip tek bir bütün halinde kristalin etrafında dönmelerini sağlamanın mümkün olması gerekir; bu da katının kendi içinden geçmesi anlamına gelecektir. Bu durum iki yüzüğün birbirinin içinden geçirildiği, birbirine kilitlendiği, sonra sihirbazın elinin bir dokunuşuyla tekrar birbirinden ayrıldığı o tuhaf birleştirme numaralarından pek de farklı değildir. Fakat bu durumda yanılmanın kendisi katılıktır.

Elinize tekrar bakın. Büyük ölçüde hiçbir şeyden oluşmuştur. Proteinlerin kristal yapıları minicik atomlar arasında muazzam boşluklar bırakır. Atomların kendileri neredeyse tümüyle maddeden yoksundur. Maddenin olduğu yerlerde –atom çekirdeği– maddenin kütesinin büyük bölümü boş uzayın enerjisindeki kuantum dalgalanmalarından yoksundur. Yüzünüzün önündeki elin katılığı herhalde başınıza gelebilecek en inandırıcı illüzyondur.

# BEDAVA YEMEK DİYE BİR ŞEY NEDEN YOKTUR?

*Enerji, entropi ve*

*daimi hareket arayışı*

*“Bedava yemek diye bir şey yoktur” deyişinin kökenleri tam olarak belli değildir, ama kaynakların çoğu bu deyişin ekonominin en anlamlı özetlerinden biriyle hayat bulduğunu söyler. Bu deyiş Pierre Dos Utt’un 1949 tarihli, TANSTAAFL: Yeni Ekonomik Dünya Düzeni İçin Bir Plan adlı monografisinde geçmiştir; Dott burada ekonomik tavsiye arayışında olan bir kraldan bahsetmiştir. Kralın danışmanları, mesajlarını çok daha özlü bir biçimde verebilme çabasına girmişler, sonuçta bu deyişin klasikleşmiş bir biçiminde karar kılmışlardır: “Bedava yemek diye bir şey yoktur.”*

Bu deyişin, yeni bir dünya düzeni başlatma konusunda ekonomistleri motive edip etmediği şüphelidir; dönemin fizikçileri herhalde hiç etkilenmemişlerdir. Hiçbir şey karşılığında bir şey alma fikri, uzun zamandır mucitlerin hedefi olmuştur; mucitler herhangi bir dış güce gerek kalmaksızın çalışacak “daimi hareket makineleri” yaparak yemeği bedavaya getirmeye çalışmışlardır. Fizikçiler de uzun zaman boyunca onlara bunun imkânsız olduğunu anlatmışlardır.

Bedava yemek diye bir şey yoktur, çünkü hiçbir şey karşılığında bir şey alamazsınız. Her zaman birinin, bir yerin ödemesi gerekir. Fizikçiler bu ilkeyi, fiziğin temel kanunu olarak baş tacı etmişlerdir. Bu yüzden bedava bir yemek aramaya başlamadan önce iyice bir düşünmeniz gerekir; çünkü evrenin işleyiş biçimine karşı savaşıyorsunuz demektir. Herhalde bunu en iyi büyük sanatçı, hayalci ve mucit Leonardo da Vinci dile getirmiştir. Da Vinci daimi harekete yakın bir ilgi duymuş, daimi hareket tasarımlarını incelemiş, nihayetinde birkaç tasarım geliştirmişti. Fakat bunların hepsine şüpheyle yaklaşıyordu: Defterlerinden birinde popüler bir makinenin ayrıntılı bir analizi bulunur; makinenin neden ve nasıl çalışmayacağını göstermektedir. Leonardo “Siz daimi hareket araştırmacıları, bu araştırmada ne kadar çok kuş beyinlice fikir ürettiniz. Simyacılara katılsanız yeridir,” diye yazmıştır.

<>

“Siz daimi hareket araştırmacıları, bu araştırmada

ne kadar çok kuş beyinlice fikir ürettiniz.

Simyacılar katılsanız yeridir.”

## LEONARDO DA VINCI

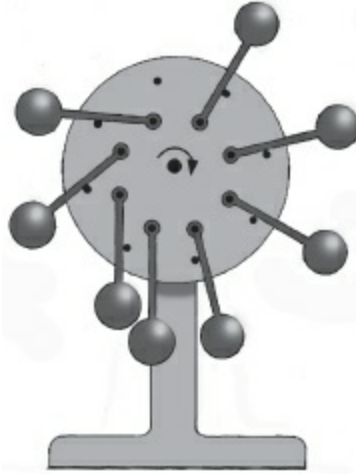


İki tür daimi hareket makinesi vardır. İlki, hiçbir yakıt ya da başka bir enerji girdisi olmamasına rağmen sonsuz bir iş üretimi sağlar. İkincisi, mükemmel bir verimlilikle ısıyı mekanik işe çevirir. Açıkça söylemek gerekir ki bunların ikisi de temenniden ibarettir; fizikçiler bize durumun neden böyle olduğunu anlatmaktadırlar.

### Hiçbir Şeye Karşılık Bir Şey

Simyada söz konusu olduğu gibi, daimi hareket arayışı, Dünya'yı süsleyen en ince zihinlerin bazılarını meşgul etmiştir. Bu hayal en azından MS 624 yılından itibaren ortalarda dolanmaktadır; Hint matematikçi ve astronom Brahmagupta bu tarihte iç çubukları cıvayla doldurulacak bir tekerlek tarif etmiştir. Tekerlek döndükçe cıva, ağırlığı tekerleğin etrafında döndürecek. Brahmagupta sonuçta “tekerleğin otomatikman sonsuza dek döneceğini” yazmıştır.

Bu fikir birçok kereler dile getirilmiştir. 1235'te Fransız sanatçı ve mucit Villard de Honnecourt kendi versiyonunu ortaya çıkarmıştır. De Honnecourt aptal değildi: Zamanı sayacak mekanik bir eşapman mekanizmasının bilinen ilk planlarını çizmişti. Fakat De Honnecourt'un “dengesi bozulmuş tekerlek” hâlâ işlememektedir. Burada bir dizi ağırlık bir tekerleğin çevresine bağlanmış, hareketleri millerle kısıtlanmıştır. Tekerlek döndükçe, ağırlıkların dağılımındaki dengesizlik dönmesini sağlar. Tekerlek döndükçe yükselen ağırlıklar millerinin üstüne düşer, böylece ağırlık aktarımı tekerleği döndürür.



*DENGESİZ BOZULMUŞ TEKERLEK*

Sürekli dönen bir tekerleğin, daimi hareket arayışında tekrarlanan bir tema olması, ancak pek az insanın bu tür makineler inşa etmeye çalıştığı anlamına gelebilir. Böyle bir makine yaparsanız çok geçmeden, makinenizin işlemediğini anlarsınız. Örneğin De Honnecourt'un aşırı dengeli tekerleğini ele alalım. Bu tekerleğin sürekli dönmesi için gerekli olan şey, en tepedeki ağırlığın, tekerleğin tepesine vardığında kayıp dönmesi ve dengesizliği devam ettirmesidir. Maalesef böyle olmaz: Ağırlık dağılımı öyledir ki tepedeki ağırlık tam kayıp dönmez. Bir devirden sonra ağırlıklar baştaki konumlarına döner, her şey tam başlangıçtaki halini alır, buna hareketsiz tekerlek de dahildir.

De Honnecourt'un hakkını yemeyelim; bunun böyle olmasının sebebi onun devrinden epeyce sonra

açıklık kazanmıştır. Sorun iki farklı biçim arasında enerjinin dönüşmesidir. Ağırıklar kütleçekimin etkisiyle düşme potansiyeline sahip olduğundan, “potansiyel enerjiye” sahip oldukları söylenir. Tekerlek dönerse bu enerjinin bir bölümü hareketin “kinetik enerjisine” dönecektir. Fakat bir devirden sonra, ağırıklar ilk konumlarına dönerler, dolayısıyla tam olarak öncekiyle aynı potansiyel enerjiye sahip olmaları gerekir (bu durum konumlarından kaynaklanır). Bir dış enerji kaynağı bulunmadığı, ağırıklar her devirde aynı potansiyel enerjiye sahip oldukları için, dönen tekerleğe enerji verecek hiçbir şey yoktur.

## Enerji Korunur

1775’e gelindiğinde, Paris’teki Kraliyet Bilimler Akademisi’nin daimi hareketle ilgili çalışmalarından artık sıtkı sıyrılmıştı. Akademi bu tarihte bir bildiri yayınlarak “daimi hareketle ilgili teklifleri artık kabul etmeyeceğini ya da uğraş konusu edinmeyeceğini” duyurdu. 1841’de de bilim insanları nihayet daimi hareket arayışı içinde olanlara savurabilecekleri bilimsel bir ilke bulmuşlardı: Termodinamiğin ilk kanunu.

Termodinamiğin ilk kanunu enerjinin korunumuyla ilgili ilk apaçık ifadeydi. Leonardo da Vinci, “Düşen su, eğer etkinin kuvvetini dikkate alacak olursak aynı miktarda su taşırır,” demişti; fakat Alman fizikçi Julius Robert Von Mayer bu meseleyi daha düzgün bir biçimde inceleyecek ve bir hükümde bulunacaktı. Von Mayer, enerjinin yaratılamayacağını ya da ortadan kaldırılamayacağını söylemişti.

Kendisinin hemen ciddiye alındığı söylenemez. Örneğin ona bu tuhaf fikri destekleyecek bazı deneysel kanıtlar bulması söylendi. O da kendisinden isteneni yaptı; titreşimin kinetik enerjisinin su moleküllerine aktarılabilceğini, bunun da ısıda bir artış olarak tezahür edeceğini gösterdi. Bu nokta kanıtlandığında, ileri sürdüğü ilke fizikçiler tarafından hemen kabul edildi ve daimi hareketi bir kıyıda tutmak için kullanıldı. Hareket enerji ister, enerjinin korunumu ilkesi de kapalı bir sistemden, ilk başta sistemde olduğundan fazla enerji alamayacağını söyler. Sürtünme bütün mekanizmaları etkilediğinden, bu enerjinin bir kısmını ısı ve ses olarak dağıtmak, ilk türden daimi hareket makineleri icat etmek budalaların uğraşı haline gelmiş oluyordu. Bu durum, daimi hareket arayışı içinde olanların soluğunu tüketmiş değildi. Tam da bu tarihlerde termodinamik bilimi onlara yeni bir hayat veriyordu. Amaçları neydi peki? İkinci türde daimi hareket makineleri yapmak.

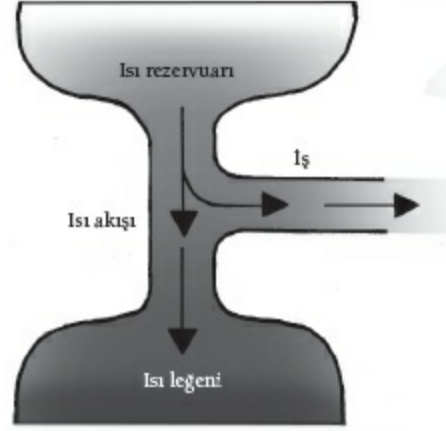
## Mucize Makineler

İkinci tür daimi hareket makineleri, hava ya da okyanus gibi bir rezervuardan ısı enerjisi alan sonra bunu mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Bu tür makineler kesinlikle iyi bir fikir olarak görünüyor. Okyanuslar o kadar engin bir kaynaktır ki buradan ısı alabilecek olsaydık okyanus ısısında sadece bir derecelik bir düşüşe sebep olur, buna karşılık ABD’nin enerji ihtiyaçlarını yaklaşık yarım yüzyıl boyunca karşılayabilirdik.

Bu tür makinelerin akla yatkınlığı büyüleyicidir. Gerçekten de buhar gücüyle çalışan verimli bir makine yapmak, İskenderiyeli Hero’nun MS 1’de “aeolipile”i icat ettiği günlerden bu yana insanların takıntısı olmuştur. Buhar jetleri tarafından döndürülen bu top belli bir amaca hizmet etmiyordu. Gelgelelim peş peşe yapılan icatlarda buhar tribünleri, damlalıkları döndürmek, madenlerden su çekmek ve öğütme değirmenlerine güç vermek için kullanılmıştır. Ne var ki bunların hiçbiri gerçekten verimli olmaya yaklaşmamıştır. Bu verimlilik ilk kez 1765’te gösterime çıkan James Watt’ın buhar makinesiyle gelmiştir. James Watt’ın makinesi Thomas Newcomen’in icat ettiği makinenin

geliştirilmiş bir versiyonuydu ve verimliliği Sanayi Devrimi'ni başlatacak kadar artırmıştı. Bu tür makinelerin ardındaki kuram hâlâ gelişmekteydi. Buhar makinelerinin mucitleri bilimsel teoriler üzerine değil, sezgileri ve içgüdüleri üzerine çalışmışlardır.

Fransız askeri bilim adamı Sadi Carnot *On the Motive Power of Fire* adlı kitabını ancak 1824'te yayınlamıştır. Fakat o zaman bile, bu alanda yapılan bu başlıca çalışma on yıl boyunca fark edilmemiştir. Gelgelelim buhar makinesinin ardındaki bilimsel ilkeler artık yerli yerine oturmuştu. Hediyesi olarak da Carnot, ikinci tür daimi hareket makinelerinden bedava yemeği esirgeyen ilkeyi işlemişti.



CARNOT MAKİNESİ

Oda sıcaklığındaki bir ısı kaynağından yararlı bir iş alamamanızın iyi bir sebebi vardır. Buna termodinamiğin ikinci kanunu denir: Temel olarak bir şeyden ısı alıp sonra o ısıyı mekanik işe çeviremeyeceğinizi söyler. Bu ısının bir bölümünün, daha düşük bir ısıdaki “ısı leğeni” aktarılması gerekir. Bu “ısı makinesinden” ne kadar iş alacağınızı belirleyecek şey ısı kaynağı ile ısı leğeni arasındaki ısı farklılığıdır. Carnot, son derece verimli bir ısı makinesi yapmanın mümkün olduğunu göstermiştir.

### Sıfırıncı Kanun Kuralı

Bunun neden böyle olduğunu görmek için, bir makine tasavvur edelim. İş yapmaya çalışan her makinenin enerjiye ihtiyacı vardır; enerjinin ısı biçiminde geldiğini düşünelim. Isı sıcak bir kaynaktan soğuk bir kaynağa doğru akar (bu ilke o kadar belirgin görünmektedir ki ancak diğer kanunlar ortaya konduktan sonra termodinamiğin “sıfırıncı kanunu” olarak resmileştirilmiştir); bu yüzden iki rezervuara ihtiyaç vardır; ısı sıcak bir “rezervuardan” soğuk bir rezervuara doğru akarken iş çıkarılabilir.

Bu durumda elde edilen iş, sıcak rezervuardan çıkan ısıyla soğuk rezervuara akan ısı arasındaki fark olacaktır. Mükemmel verimlilik durumunda, soğuk rezervuara sıfır ısı akacaktır; böylece ısı enerjisinin tamamı yapmak istediğiniz iş için kullanılmış olacaktır.

Şimdi Carnot'nun yaptığı gibi makinenin kullanımını düşünelim. Carnot, bir otomobil motorunun silindrine çok benzeyen bir piston makinesi tasavvur etmişti, bu makinede ısı, pistonu iten gazı genişletmek için kullanılıyordu. Gaz sıkıştırılıyor, böylece döngü yeniden başlıyordu. Carnot basınç, ısı ve hacmi ilişkilendiren gaz kanunlarını değerlendirerek bir motorun verimliliğinin sıcak ve soğuk rezervuarların ısılarının birbirine oranına bağlı olduğunu göstermiştir. Motora güç vermek için hangi sıvının ya da gazın kullanıldığına bağlı olmaksızın, iki ısının birbirine oranı her şeyi vermektedir. Ve



işte burada da bedava yemekle ilgili problem yatmaktadır.

---

## EVRENİMİZ: TEK BEDAVA YEMEK

*Fizikçi Alan Guth'a göre bedava yemek diye bir şey vardır. Ve hepimiz onun içinde yaşıyoruz. Guth evrenin "tek bedava yemek" olduğunu söylüyor. Kozmolojide "şişme" olarak bilinen fikri ortaya atan ilk kişi Guth olmuştur. Guth'a göre, evren ve içerdiği enerjinin tamamı bir gram maddeden daha azından çıkmış gibi görünmektedir. Büyük Patlama'yı izleyen bir saniyenin birkaçta biri sonrasında evren bir protondan 100 milyar kere daha küçüktü, fakat sonra bir balon gibi şişti. Aslına bakarsanız göz açıp kapayıncaya kadar geçen bu süre zarfında, hatta ondan daha kısa bir süre içinde bir bezelye tanesiyken şişip Samanyolu boyutlarına ulaştı.*

*Bu meseleyle ilgili rakamlar şaşırtıcıdır. Şişme, evren bir protonun yaklaşık bir milyarda biri boyutlarındayken başladı. 10-34 saniye sonra, başlangıçtaki boyutunun 10-25 katı daha genişlemiş, bir çakıl tanesi boyutlarına gelmişti. Kozmologlar bu süre zarfında evrendeki enerjinin 1075 kat arttığını söyler. Bütün bunlar kulağa hiçbir şeyden bir şey çıkmaz ya da bedava yemek yoktur kuralının çiğnenmesi gibi geliyor. Fakat bütün bunları fizik kanunları dahilinde tutan bir karmaşıklık vardır: Evrenin bir kısmı, negatif enerjidir.*

*Genel görelilik kuramına, uzay ve zamanın doğasına ilişkin en iyi betimlememize göre bir kütleçekim alanının enerjisi her zaman negatiftir. Şişme sırasında hızla genişleyen uzay-zaman içindeki enerji, daha da negatif hale gelir. Gelgelelim bu uzay-zaman içinde madde belirleme başlamıştır. Bunun sebebi, uzay-zamanın özelliklerinin, uzay-zamanın bir bölümünün, elektronlar, pozitronlar ve nötronlar gibi parçacıkların kendiliğinden daha düşük bir enerji durumuna geçtiği anlamına geliyor olmasıdır. Madde pozitif enerjiye sahiptir; maddenin devam eden yaratımı daha da fazla pozitif enerji yaratıp büyümekte olan negatif enerjinin dengelenmesini sağlamıştır. Toplam enerji böylece sabit kalabilir. Antik Yunanlılar hiçbir şeyin hiçbir şeyden yaratılamayacağını söylüyorlardı; fakat şişme durumun farklı olduğunu haykırır.*

---

Ortalama dizel motoru yaklaşık 550 0C'de çalışmaktadır. Atılan gazlar dışarıdaki ısıya çıkmaktadır. Carnot'nun yaptığı çalışmalara göre, mümkün olan azami verimlilik yaklaşık yüzde 60 civarındadır. Dizelle çalışan arabalar, aslında, yakıtın kimyasal enerjisinin yaklaşık yüzde 50'sini, arabayı yolda yürüten enerjiye çevirebilir. Geri kalan kısım ısı olarak israf olur (işte bu yüzden arabaların soğutma sistemlerine ihtiyacı vardır). Benzin motorları bu kadar bile verimli değildir.

<>

“Bir döngü içinde işlemekte olan bir motor, çevresi üzerinde

başka bir etki olmaksızın soğuk bir rezervuardan sıcak

bir rezervuara 1s1 transfer edemez.”

**RUDOLPH CLAUSIUS**



Peki, iki rezervuarı da aşırı uçlarda ısıda çalıştırırsak ne olur? Teoride sıcak rezervuar sonsuz derecede yüksek ısılarda işleyebilir. Fakat soğuk rezervuar mutlak sıfırdan daha soğuk olamaz. Sıcaklığı boş uzaya boşalttığımızda bile soğuk rezervuarın ısısı 3 0K ya da -270 0C olacaktır. Sıfırdan daha aşağıya inemediğiniz ve sonsuz derecede sıcak bir rezervuar bulunmadığı için (en azından bildiğimiz kadarıyla yoktur), mükemmel verimlilikte bir motor imkânsızdır. Isının bir bölümünü israf etmeksizin, ıslıyı işe çeviremezsiniz. Ve bu da döngüyü devam ettirmek için her zaman enerji eklemeniz gerektiği anlamına gelir. Başka bir deyişle bedava yemek yoktur.

Carnot'nun çalışması doğrudan, termodinamiğin ikinci kanununun formüle edilmesini beraberinde getirmiştir. İngiliz fizikçi Lord Kelvin ve Alman fizikçi Max Planck'ın ifade ettikleri üzere, termodinamiğin ikinci kanunu bir döngü içinde işleyen bir motorun, çevresi üzerinde başka bir etki olmaksızın ıslıyı işe dönüştüremeyeceğini söyler. Bu ikinci kanun yüzünden, yemeği bedavaya getiremediğiniz gibi, buzdolabında bedavaya soğuk da tutamazsınız. Öyle anlaşılıyor ki soğutma Carnot motorunun tersine çalışmasından daha karmaşık değildir.

1850'de Alman fizikçi Rudolph Clausius termodinamiğin ikinci kanununun ifade edilme biçimini yeniden düzenlemiştir: "Bir döngü içinde işlemekte olan bir motor çevresi üzerinde başka bir etki olmaksızın soğuk bir rezervuardan, sıcak bir rezervuara ısı transfer edemez." Başka bir deyişle bir buzdolabının enerjiye ihtiyacı vardır. Bu durum enerjinin doğal olarak "aşağıya doğru" akma eğiliminde olmasından kaynaklanır: Sıcaktan soğuğa doğru. Buzdolabınızın içini mutfağınızın ıslısının altında tutma çabanız, arabanızın motorunu çalıştırdığınızda gerçekleşen gazların genişlemesi, sıkışması, ısınması ve soğuması süreçlerinin aynısını gerektirir ve bütün enerjiyi çekip alır. Fakat bu sefer gaz için bir genleştiriciden çok bir sıkıştırıcıya ihtiyacınız olacaktır.

## Entropinin İlerleyişi

Daha önce belirttiğimiz üzere Carnot'nun çalışması gazın basıncı, ıslısı ve hacminin değerlendirilmesini gerektiriyordu. Carnot'nun ortaya çıkardığı süreç, fizikçilerin başka bir şeyi açığa kavuşturmalarını sağladı: Entropi kavramı. Öyle anlaşılıyor ki bütün evren, çok daha büyük bir düzensizliğe doğru dönmektedir. Bu düzensizliği "entropi" olarak sınıflandıran fizikçi Clausius olmuştur; entropi Yunanca "dönüşüm" anlamına gelen bir sözcükten türetilmiştir. Clausius 1865'te, bir gazda atomların birbirinin üzerinde yaptığı işi konu alan bir matematik makalesi yazmıştır. Sonuçta Clausius, termodinamiğin ikinci kanununun yeni bir biçimde ifade edilebileceğini göstermiştir: kapalı bir sistemin entropisi, yani düzensizliği ya aynı kalır ya da artar, hiçbir zaman azalmaz.

Bu, entropinin küçük bir ölçekte arttığını göremeyeceğiniz anlamına gelmiyor. Buzdolabındaki öğle yemeğiniz soğuyacaktır örneğin; yemeği oluşturan moleküllerdeki düzensizlik azalacaktır. Fakat bunun termodinamiğin ikinci kanununu bozduğunu sanmayın. Buzdolabınızın içi kapalı bir sistem değildir; soğutucu gazın molekülleri ıslıyı uzaklaştırır ve bunu yaparken düzensizlikleri artar. ıslı mutfağınızdaki havaya aktarılırken, evinizdeki düzensizlik de artar.

Doğanın süreçleri birbiri ardına açıldıkça, evrenin tamamında böyle bir şey gerçekleşmektedir. Fizikçilerin bakış açısına göre bu durum, doğal süreçlerin geri çevrilemezliğini yaratır: Zaman oku

termodinamiğin ikinci kanununu ifade etmenin yalnızca başka bir biçimidir. Carnot'nun motorunun döngüsünde israf olan enerji, evrenin mikrokozmetik ölçekte yavaş yavaş açılmasıdır.

Termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları bir arada ele alındığında, bedava yemekle ilgili bütün iddiaların önüne kocaman bir tuğla duvar çeker. Aslına bakarsanız bu iki kanun o kadar iyi kanıtlanmıştır ki ABD Patent Bürosu bir daimi hareket makinesi için patent almak üzere başvurulara iyice düşünmeleri uyarısında bulunur; muhtemelen paralarını kaybedeceklerdir. Büronun resmi yazısında, "Patent Bürosu'nun görüşleri, bu konuyu araştırmış olan bilim insanlarının görüşleriyle aynı çizgidedir ve bu tür aygıtların fiziksel olarak imkânsız olduğu anlamına gelmektedir," denir. "Büro'nun benimsediği bu konum ancak çalışan bir modelle bozulabilir... Büro, Daimi Hareket'i keşfettiklerine inanan başvuru sahiplerinin başvuru bedeli ödemelerini kabul etme konusunda tereddüt içindedir ve bu başvuru sahiplerine, Denetçi'nin sunumlarını değerlendirmesi sonrasında başvuru bedellerinin iade edilmeyeceği uyarısında bulunmanın adil olduğunu düşünmektedir." Demek oluyor ki bırakın bedava yemek yemeyi, bedava yemek aramak bile pahalıya patlayabilir.

# NIHAYETİNDE HER ŞEY

# RASTGELE MİDİR?

*Belirsizlik, kuantum gerçekliği ve istatistiğin olası rolü*

*Soruyu tersine çevirerek işe başlayabiliriz. Her şey tahmin edilebilir midir? Evrendeki süreçlerin nasıl ortaya çıkacağını belirleyen kurallar üzerinde çalışabilir miyiz? Bu bize doğa üzerinde olağanüstü bir güç kazandıracaktır; insanlığın her zaman hayalini kurmuş olduğu türden bir güç.*

Birçok bakımdan insan varoluşunun tamamı bu arayışla sarılıp sarmalanmıştır. Etrafımızdaki dünyaya bakarız; gördüklerimizi bir kurallar ve genellikler dizisine indirmemizi sağlayacak düzenlilikleri, ilişkileri bulmaya çalışırız. Bu da gelecekte karşılaşılabileceğimiz ya da karşılaşmayabileceğimiz şeyler hakkında tahminler yürütmemizi, beklentilerimizi ve hareketlerimizi bu tahminlere uygun olarak değiştirmemizi sağlar. Bizler tam anlamıyla örüntü arayıcılarız.

Örüntü tespit etmenin, bir yönüyle, bir tür olarak bize büyük yararı dokunmuştur. Savanada hayatta kalmamızı sağlayan şey kuşkusuz budur. Bir yırtıcı hareketsiz olduğunda kendisini saklayabilir; fakat hayvan hareket eder etmez çevremizdeki örüntülerde bir değişiklik fark etmiş ve kaçma eylemine girmişizdir. Kökler ve meyveler tahmin edilebilir coğrafi ve zamansal örüntülerle (mevsimler) yetişir, bu da onları bulup onlarla beslenmemizi sağlamıştır.

Kanıtlar, hayatlarımız örüntü tespitine dayandığı için, beyinlerimizin gelişiminin bu süreci aşırı uçlara götürdüğünü, bizi ortada olmadıkları halde örüntüler görmeye zorladığını düşündürüyor. Örneğin aşırıya kaçarak yaprak ve çalı yığınlarını görünmez ruhlar dünyasının kanıtı olarak yorumlamışızdır. Modern araştırmalar, çevremizdeki örüntülere bu biçimde aşırı duyarlılık göstermemizin bizi dini inanışa hazırladığını ileri sürmektedir; insan türünün hayatta kalmak için ödediği bedel akıldışı olana doğru bir eğilim –dokunamadığımız, göremediğimiz, açıklayamadığımız şeylerin değerlendirilmesi– olmuştur.

Fakat ironiktir, bilim insanları kendi gözlerindeki çapak yüzünden, akıldışı düşüncenin nereden geldiğine dair ancak düşünceler üretebilmişlerdir. Bilim insanları olmadığı yerde örüntü görme, düzenlilik olan yerde rastgelelik görme eğilimlerinin artık acıyla farkına varmışlardır. Bununla savaşılabilmek, etrafımızdaki dünyada bir düzen, amaç ya da yapı olup olmadığını belirleyebilmek için insan zihninin hem ne kadar parlak hem ne kadar bön olabileceğini açıkça ortaya koyan bir icada ihtiyacımız vardı. Bu icadı “istatistik” adıyla biliyor olabilirsiniz.

## Zar Atıldı

Modern bilimdeki gelişmelerin birçoğunun aksine, istatistiğin Yunanlılarla hiçbir ilgisi yoktur. Yunanlıların kumardan ne kadar hoşlandığı göz önüne alınırsa bu dikkat çekici bir durumdur. Yunanlılar ve Romalılar saatler boyunca kadim dünyanın zarlarını atarlardı. Bu zarlar, *astralagi*'den yapılırdı: Koyunların ve geyiklerin topuklarında bulunan altı yüzlü kemiklerden. Bu kemiğin altı yüzünden sadece dördü düzdü, bu düz yüzlere rakamlar verilmişti. Zanaatkârlar birbirinin karşısına denk gelen iki yüze 1 ve 6 rakamlarını, sonra diğer iki düz yüze 3 ve 4 rakamlarını kazımışlardı. Rakamların yerleştirilme biçimleri öyleydi ki 1 ve 6'nın yaklaşık dört kez atılması, 3 ile 4'e nazaran daha az muhtemeldi.



Girişimci bir Yunan matematikçinin, *astralagi*'yle oynanan zar oyunlarından bir servet kazanmış olabileceğini düşünebilirsiniz. Gelgelelim böyle bir matematikçinin çıkmamış olmasının sebepleri vardır. Öncelikle Yunanlılar hiçbir şeyi rastgele şans olarak görmezlerdi: Her şey tanrıların gizli planlarında yazılıydı. Ayrıca Yunanlılar iş rakamlara geldiğinde biraz hantaldılar. Yunan matematikçiler sadece şekillerle ilgileniyorlardı: Geometride mükemmelliğe ulaşmışlardı. Fakat rastgelelikle uğraşmak aritmetik ve cebir gerektirir; Yunanlıların bu alanlardaki becerileriye sınırlıydı.

Rastgeleliği kavramak için gerekli olan tek atılım, cebirin icadı değildi. Açıktır ki bu kavrayışa ulaşmak, altı yüzünden herhangi birinin üzerine düşmesi eşit derecede olası "adil" bir zarın üretimini de gerekli kılıyordu; 17. yüzyılda Newton'ın çizdiği göklerin mekanizmasının yanı sıra ortaya çıkan ilk olasılık kuramları neredeyse tümüyle, zarı attığınızda neler olduğuyula ilgiliydi.



“Şans; o gizemli, fazlasıyla *istismar edilmiş sözcük, cehaletimizi*

*örten bir peçedir yalnızca. Sıradan zihin üzerinde son derece*

*mutlak bir hükümdarlık kuran bir hayalettir.”*

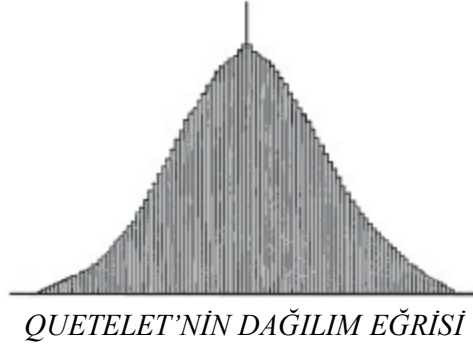
**ADOLPHE QUETELET**



Bu kuramlar zarların adil olduğu fikrine dayanıyordu ve biraz ilkel olmakla birlikte doğal dünyadaki süreçlerin rastgele olup olamayacağını kavrama yönünde ilk girişimlerdi. Zarlardan, yazı tura atıp kağıt karmaya, nihayetinde de istatistiğe, olasılığa ve rastgelelik kavramına vardık.

### Olası Neden

Belçikalı gökbilimci ve matematikçi Adolphe Quetelet olasılığı insan ilişkilerine uyarlamaya ilk kez 1830'lu yıllarda başladı ve insan nüfuslarının fiziksel ve ahlaki özelliklerinin dağılımıyla ilgili istatistiksel kavrayışlar geliştirmeye başladı. "Ortalama insan" kavramını geliştiren Quetelet oldu.



Quetelet dikkatini doğa olaylarındaki rastgelelik kavrayışına çevirdiğinde hiç esir almamaya kararlıydı. "Şans, o gizemli, fazlasıyla istismar edilmiş sözcük, cehaletimizi örten bir peçedir yalnızca," diyordu. "Uzun bir olaylar dizisini görebilen filozof karşısında bir hiç inen, olayları sırf yalıtılmış olarak değerlendirmeye alışık olan sıradan zihin üzerinde son derece mutlak bir hükümdarlık kuran bir hayalettir şans."

Kadim medeniyetler gezegenlerin hareketlerini tahmin edebilecek beceride olmuşlarsa da Quetelet'ye dek hiç kimse yağmurun bir pencere pervazına düşmesinde ya da göktaşı yağmurları yaşanmasında bir örüntü olabileceğini düşünmemiştir. Quetelet uzun zamandır rastgele olduğu düşünülen şeylerdeki istatistiksel örüntüleri ortaya koyarak bunu tümüyle değiştirmiştir.

Gelgelelim rastgelelik kavramı Quetelet'yle ölmüş değildir. Quetelet'nin çalışmaları "uzun olaylar dizisinin" sıklıkla istatistiksel bir örüntü izlediğini gösteriyordu. Fakat bu durum tek bir olayın tahmin edilemeyeceği fikrinin önünü açıyordu. Quetelet'nin biliminde, bozuk para havaya birçok kereler atıldığında yazı ve tuların tahmin edilebilir bir dağılımı ortaya çıksa da para havaya tek bir kez atıldığında sonucun ne olacağı tahmin edilebilir değildir.

### Cehalet Peçesini Kaldırmak

Fakat burada bile, bilim artık rastgelelik algılamasının cehaletin bir sonucu olduğunu göstermiştir. Havaya bozuk para fırlatmak, çeşitli etkenlerin karmaşık bir biçimde bir araya gelmesini gerektirir. Bozuk paranın başlangıçtaki durumu, fırlatmanın açısal ve doğrusal ivmesi, paranın hangi mesafeden yere düştüğü, uçuşu sırasındaki hava direnci gibi. Bunların hepsini akla yatkın bir doğrulukla bilerseniz paranın nasıl düşeceğini kesin olarak tahmin edebilirsiniz.

*Dünya nihayetinde rastgeleyse, en azından bu rastgeleliği kullanabiliriz. Başlangıç itibarıyla kararsızlık mefhumuna bakalım. İkinci Dünya Savaşı sırasında hava kuvvetleri, aletlerinin uçak uçuş halindeyken daha iyi çalıştığını fark etmişti. Uçağın titreşimleri, göstergelerin iğnelerini küçük, rastgele hareketlerle ileri geri sallıyor; bu durum aletlerin mekanizmalarındaki sürtünmenin üstesinden gelinmesini sağlıyordu. Öyle görünüyor ki rastgele sesler de doğal dünyadaki yaratıkların yardımcısıdır. Kerevit balığının durgun sudayken yırtıcılara av olması daha muhtemeldir. Azıcık bir çalkalanma sesi, kerevite yaklaşmakta olan bir balıkla ilişkilendirilebilecek değişiklikleri fark etme avantajı veriyor gibi görünmektedir.*

*Beslenme denkleminin öbür tarafında, rastgelelikten, çok dişli mersin balığıgiller (paddlefish) plankton avlarken yararlanır. Plankton zayıf bir elektrik sinyali salar, balığın uzun burnu bu elektrik alanını yakalayabilecek olan elektrik alanı sensörleriyle donanmıştır. Fakat çoğunlukla planktonun sinyalleri balığın tespit edemeyeceği kadar zayıftır. Gelgelelim evrim balığa sinyale bazı sesler ekleyebilecek sinir hücreleri kazandırmıştır. Sonuçta, zayıf sinyali mersin balığının hissedebileceği kadar güçlendiren “stokastik rezonans” denilen fenomen ortaya çıkmıştır.*

*Beyinlerimizde de benzer bir numara iş başında olabilir. Bütün omurgalılarla aynı beyin mimarisini paylaşan meyve sineklerinin, koku alma duyularını geliştirmek için stokastik rezonanstan yararlandığı gösterilmiştir. Araştırmalar görme duyusunun, duymanın ve yaşlı bir insanın dokunma ve denge duyularının beynin kulaktan, gözden ya da deriden aldığı sinyallere biraz rastgele gürültü eklenmesiyle iyileştirilebileceğini göstermektedir. Örneğin Cochlear marka implantlar sağır insanların düşük düzeyde rastgele gürültüyle birlikte daha iyi duymasını sağlar.*

---

Dolayısıyla bir bozuk paranın havaya fırlatılması hiç de rastgele değildir. Bir zarın atılması daha rastgeledir; fakat yine de tam anlamıyla rastgele değildir. Burada da aynı kural geçerlidir: Prensipite, baştaki bütün koşulları ve atışın kesin dinamiğini biliyorsanız zarın hangi yüzünün üstüne geleceğini hesaplayabilirsiniz. Burada sorun zarın keskin köşeleridir. Bir zarın köşesi masaya çarptığında sonuç kaotik olur (bkz. *Kaos Teorisi Felaket mi Haber Veriyor?*): Bunu izleyen hareket hassas bir biçimde, zarın köşesinin tam olarak hangi açıyla ve hangi hızla çarptığına bağlıdır. Bunun peşi sıra bir köşenin üzerine düşmenin sonucu nihayet daha hassas bir biçimde bu ilk koşullara bağlı olacaktır. Bu yüzden bir bozuk parayı havaya fırlatmamızın nasıl sonuçlanacağını ilk bilgilere dayanarak hesaplayabileceğimizi ümit ederiz, oysa bir zar atışına dair tahminlerimiz çok daha az doğruluk payı taşıyacaktır. Eğer atışta iki ya da üç kaotik çarpma olursa tahminlerimiz rastgele olmaktan öteye biraz zor geçecektir.

Gelgelelim kaotik sistemlerle gerçekten rastgele sistemler arasında bir ayrım yapmak önemlidir. Bir zar atışı bizim açımızdan tahmin edilebilir değildir, ama rastgele de değildir: Seçilebilir kanunları izlediğini biliriz; ne var ki bu kanunlar, baştaki koşullara dair sınırlı bilgimize dayanarak sonuçlarını doğru bir biçimde hesaplayabileceğimiz kanunlar değildir, o kadar. Aynı şeyi hava durumu için de söyleyebiliriz: Hava durumunun rastgeleymiş gibi görünmesine neden olan bizim sınırlılıklarımız, Quetelet’in deyişiyle bizim cehaletimizdir. O halde herhangi bir şey gerçekten rastgele olabilir mi? Bilimin en büyük, en temel tartışmalarından birinin merkezinde yatan soru budur.

20. yüzyılın başında Lord Kelvin, fiziğin ilerleme biçiminden duyduğu memnuniyeti ifade etmişti. Newton temel atma çalışmasını yapmıştı; onun hareket kanunları ışığın ve ısının doğasına ilişkin olarak ortaya çıkmakta olan anlayışın temelini atmakta kullanılabiliyordu. Evet, birkaç ufak tefek mesele –onun deyişiyle “bir-iki bulut”– vardı; fakat esasen fizikçiler artık evreni anlayışımızla ilgili olarak “i”lerin noktasını koyup “y”lerin üstünü çizmekten biraz daha fazlasını yapmaktaydı. Tesadüfe bakın, büyük Alman matematikçisi David Hilbert da aynı biçimde iyimser hisler içindeydi. Hilbert 1900’de Paris’te düzenlenen bir matematik kongresinde, çözümleri halinde matematiğin defterini dürecektik 23 çözümsüz matematik problemi sunmuştu.

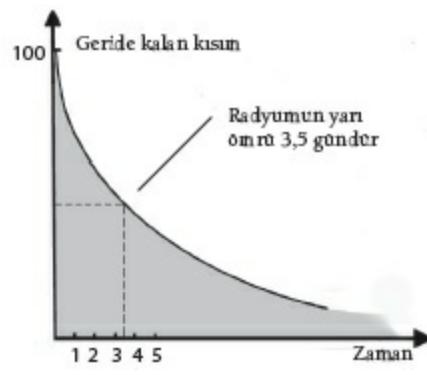
### Belirsizlik Hakkında Kesinlik

Hilbert da Lord Kelvin da iyimserliklerini yanlış bir yere yönlendirmelerinden ötürü suçluydular. Birkaç yıla kalmadan görelilik ve kuantum kuramı fiziğin geleceğini formüle etmek üzere Newton kanunlarını kullanma fikrini dinamitledi. Dahası Avusturyalı matematikçi Kurt Gödel, Hilbert’ın sormamış olduğu bir matematik sorusunu cevaplayarak ayaklarının altındaki halıyı çekip aldı ve halıyla birlikte Hilbert’ın sorduğu sorulardan birinin cevaplanabileceği yönündeki bütün kesinliği de alıp götürdü.

Gödel, eksiklik kuramı dediği bir şey formüle etmişti. Bu kuram esasen hiçbir zaman cevaplanamayacak bazı matematik problemleri olduğunu söylüyordu. Matematiksel fikirleri formüle etme biçimimiz yüzünden bazı şeyler asla kanıtlanamaz. Matematik ebediyen eksik olmaya yazgılıdır. Bu durumun rastgelelik sorunuyla derinden ilgisi vardır. Bazı şeyler bilinmiyorsa davranışları, bütün bildiklerimiz itibarıyla rastgele olabilir. Rastgelelik aslında bir sisteme içkin bir özellik olmayabilir; fakat böyle olmadığını hiçbir zaman kanıtlayamayız. Gödel eksiklik kuramını 1931’de yayınlamıştı. Bu tarihe gelindiğinde bilebileceklerimizin sınırıyla ilgili kavrayışımız pek de sürpriz sayılmazdı. Yeni doğmuş kuantum kuramına aşınaysanız nihai cevaplara ilişkin cehaletinizi çoktan teslim etmiş oluyordunuz.

Öncelikle kuantum kuramı, önümüze içkin belirsizlik sorununu koyar. Werner Heisenberg, kuantum kuramının denklemleriyle uğraşırken incelediğiniz sistemin nitelikleriyle ilgili sorular sorabileceğinizi; fakat eş zamanlı olarak sorulamayacak belli soru bileşimleri olduğunu fark eden ilk isim olmuştu. Örneğin denklemler size bir parçacığın tam momentumunu ya da pozisyonunu verecektir. Fakat ikisini aynı anda vermeyecektir. Bir parçacığın, belli bir andaki momentumunu öğrenmek istiyorsanız parçacığın o andaki pozisyonuyla ilgili olarak, kelimenin tam anlamıyla hiçbir şey söyleyemezsiniz. Bu ilke, Heisenberg’in belirsizlik ilkesi, kuantum teorisinin temel bir niteliğidir.

Heisenberg bunu haklı çıkarmak için mikroskop benzetmesini kullanmıştır. Bir parçacığın pozisyonuna bakmak istiyorsak ona bir şey, bu örnekte bir ışık fotonu çarpırmamız gerektiğini söylüyordu. Fakat böyle yaptığımızda foton parçacığın momentumunu alır. Başka bir deyişle parçacığın konumunu ölçerek ayrı bir özellikte bir değişim yaratmış oluruz; dolayısıyla parçacığın hem konumunu hem de momentumunu aynı anda doğru olarak bilemeyiz. Momentumu, enerjiyi ya da dönüşü belirlemek üzere yapacağımız herhangi bir ölçümün başka özellikler üzerinde etkileri olacaktır. Zamanın bir anında, bir sistemin bütün özellikleri hakkında kesinliğe hiçbir zaman ulaşılamaz.



*RADYUM 224'ÜN RADYOAKTİF ÇÜRÜMESİ*

İkinci ve çok daha temel sorunsu pratikteki sınırlarla o kadar ilgili değildir; daha çok doğrudan içkin tahmin edilebilirlikle ilgili bir sorundur. Bunun için verilen klasik örnek, Marie Curie'nin yanında taşıdığı radyum külçesine benzer radyoaktif bir kaya parçasıdır. Fizikçiler size, radyumun en hızlı çürüyen izotopundan oluşmuşsa, bu külçenin radyoaktifliğinin her üç buçuk günde bir yarıya ineceğini söyleyebilir. Bu durumda bir hafta sonra, başlangıçtaki radyoaktifliği dörtte bire inmiş olacaktır.

Gelgelelim bu istatistiksel bir ortalamadır. Size bir radyum atomunun belli bir süre zarfında çürüyüp çürümeyeceğiyle ilgili hiçbir şey söylemez. 1000 yıl sonra bu külçedeki atomların bazıları hâlâ çürümemiş olacaktır. Bazıları saatinizi çalıştırmanızı izleyen birkaç dakika içinde çürüyecektir. Ve hangi atomun nasıl bir akibete uğrayacağını tahmin etmenin bir yolu yoktur. Kuantum kuramında hiçbir şey çürümeyi neyin başlattığını söylemez. Bütün niyetler ve amaçlar bakımından bu rastgeledir; sanki Kadir-i Mutlak her atom için 10 tane zar atıyormuş da ancak 10 tane 6 gelmesi çürümeye sebep oluyormuş gibidir. Einstein bunu kuantum kuramının eksik olduğunun kanıtı olarak almıştır. Bu ilahi zar oyununun yerini tutacak bazı “gizli değişkenler” olması gerektiğini söylemiştir.

### Kadir-i Mutlak Zar Atar

“Yüce Olan”ın zar atmadığı fikri, herhalde Albert Einstein’ın en fazla alıntılanan sözüdür. Fakat bu sözün arkasında dini saiklerin yatmadığını belirtmek önemlidir. Einstein “Tanrı” sözünü sık sık doğa ya da evren sözcüğünün yerini alacak bir metafor olarak kullanırdı. Dikkat çektiği nokta basit ve materyalistti. Evren kesinlikle belirlenimci kanunlara göre mi işler? Her sonucun kesinlikle bir nedeni mi vardır? Kuantum kuramının kurucu babası olarak görülen Niels Bohr, buna kuşkuyla cevap veriyordu. Einstein’a tekrar tekrar kuantum kuramının rastgelelik üzerine kurulduğunu söylemişti. Bazı sonuçların hiçbir nedeni yoktu. “Einstein, Tanrı’ya ne yapacağını söylemeyi bırak,” demişti.

Heisenberg’in belirsizlik ilkesinde olduğu gibi, bu rastgelelik de kuantum kuramının denklemlerine yazılmış gibi görünmektedir. Merkezi denklem, yani kuantum sistemlerinde gerçekleştirilen deneyleri anlamamanın tek yolu, Schrödinger’in dalga denklemidir. Bu denklem kuantum nesnelere dalgaların niteliklerini atfeder. Kuantum dünyasıyla ilgili bir şey bilmek istiyorsak bu dalga denklemini çözeriz. Fakat bu denklemden çekip çıkarabileceğimiz tek şey bir olasılıktır.

Kuantum kuramını gerçekten parçalayan şey budur. Kuantum kuramı doğduğunda, 1920’lerde, istatistik sağlam bir biçimde oturmuş bilimsel bir disiplindi. Termodinamik; sıcaklıkla ilgili olarak Sanayi Devrimi’ne eşlik etmiş olan incelemeler, istatistiğe dayanıyordu. Başka birçok bilim dalı deney sonuçlarını doğrulamak için istatistiği kullanıyordu. Fakat kuantum kuramı, sonuçlarının ancak olasılık olarak ifade edilebileceği yönündeki iddialarıyla benzersiz görünüyordu; bu yüzden



Einstein'a da rahatsız edici geliyordu.

Kuantum kuramının ortodoks yorumuna göre kuantum deneylerinin sonuçları, tümüyle şansa bağlıdır. Einstein'ın bunu kabul etmeye yanaşmaması büyük ölçüde bu durumun açılımlarının ciddiyetinden kaynaklanmaktadır. Kuantum kuramı dünyayı, en temel parçacıkları ölçeğinde tanımlar. Kuantum süreçleri rastgeleyse, bu durumda her şey nihai olarak rastgeledir.

Bohr'un bununla hiçbir sorunu yoktu; çünkü nihayetinde hiçbir şeyin hiçbir özelliği olmadığına inanıyordu. Deneylerimiz ve ölçümlerimizin deneysel cihazlarımızda belli değişimler yaratacağını, bunları bir atomun momentumuna ya da bir elektronun dönüşüne tercüme edeceğimizi söylüyordu. Fakat Bohr bu niteliklerin, ölçümden bağımsız olarak var olan bir şeyin yansıması olmadığını söylüyordu. Dolayısıyla Bohr'a göre deney sonuçlarının rastgele dağılmış gibi görülmemesi için hiçbir sebep yoktu; rastgele olmayan bir sonucun doğabileceği düzenli bir nesnel gerçeklik yoktu. Onun zihniyetine göre, başka türlü olması tuhaf olurdu.

Bu olağandışı bir bakış açısı olarak görünüyor: Radikal ve sarsıcı. Bir elektron ancak, ölçüm aygıtımızın bir tuhafılığı olarak var olabilir. Sonsuz derecede daha "sağduyu" odaklı Einstein'ın bunu Bohr'la yıllarca tartışmış olması o kadar da hayret verici değil. Einstein, tartışmaları başladığında Bohr'a karşı "sevgiye benzer bir şey" duyduğunu söylemişti; entelektüel didişmelerinin böyle bir yoğunluğu ve hoşluğu vardı. Fakat tartışmanın sonuna gelindiğinde, öyle bir noktaya varmışlardı ki artık birbirlerine söyleyecek bir şeyleri kalmamıştı. Einstein'ın onuruna verilen bir akşam yemeğinde, o ve dostları salonun bir ucunda toplanırken, Bohr ile hayranları diğer uca durmuşlardı.

### Rastgele Bir Evrenle Yaşamak

Nihayetinde tarih, Bohr'un haklı olduğunda karar kılmıştır. Bohr'un karakterinin gücü dikkate alınırsa belki de bu kaçınılmazdır; örneğin Bohr bir keresinde Heisenberg'i gözyaşlarına boğmuştur. Hakikat ne olursa olsun Einstein'ın keşfedilmeyi bekleyen gizli değişkenler kavrayışı bilimsel olarak saygınlığını korusa da genel geçer bakış açısı nesnel gerçekliğin bağımsız bir varoluşu olmadığı yönündedir. Kuantum deneylerinde tezahür eden gerçeklik hakkında söyleyebileceğimiz tek şey, olasılıklar yelpazesini ve olasılıkların görünme ihtimalini tahmin edebileceğimizdir. Peki, bunlar son sözler midir? Evren nihayetinde rastgele midir? Kuantum moleküllerinden oluşan yaratıklar olarak bizler kendimizi kaprisli kuvvetlerin insafına terk edilmiş bulmaya yazgılı mıyız? Evet, fakat bu soru tıpkı bir Roma zarı gibi yüklüdür.

Bizler doğal olarak rastgeleliği olumsuz terimlerle ifade ediyormuş gibi görünüyoruz, "makus talihin tekmeleri ve okları yüzünden acı çektiğimizden" bahsediyoruz. Fakat Shakespeare'in gayet iyi bildiği üzere şans genellikle iyidir de. Örneğin Shakespeare Cymbeline'de Pisanio'ya "talihin o yola sokulmamış bazı gemiler getirdiğini" söyletmişti. Sorun şudur ki binlerce yıllık dini düşünceler, etrafımızdaki dünyada olan her şeyin bir sebepten ötürü olduğu hissini dayatmıştır. Bilim de bu hissi güçlendirmiştir: Öngörülebilirliği takdir ederiz. Fakat rastgelelik de yararlı olabilir (bkz. *Sesten Fazlası* kutusu).

Bunun da ötesinde rastgelelik varoluşumuzun kökeninde bile yer alıyor olabilir. Biraz önce gördüğümüz üzere Heisenberg'in belirsizlik ilkesi evren açısından temel önemdedir. Bunun başlıca sonuçlarından biri, boş uzay alanlarının bile sıfır enerjiye sahip olamayacak olmasıdır; aksine uzayın tamamı rastgele bir biçimde varlık bulup sonra da kaybolup giden bir "sanal" parçacıklar kalabalığıyla doludur. Uzayın "boşluğundaki" bu kuantum dalgalanmalarının evrenin ivmelenmekte

olan genişlemesini yönlendiren “karanlık gücün” kaynağı olduğu düşünülür. Evrenimizi ortaya çıkaran “Büyük Patlama”nın nedenine getirdiğimiz en iyi açıklama da “hiçbir şeyden çıkan”, fakat kaybolup gideceğine büyüyen benzer bir dalgalanmadır. Rastgeleliğin kötü bir şey olduğunu düşünebilirsiniz; fakat rastgelelik olmasaydı siz burada oturmuş onu düşünüyor olamazdınız.

# TANRI PARÇACIĞI NEDİR?

*Higgs bozonu, LHC ve  
kütlenin anlamını aramak*

*Tanrı parçacığının Tanrı'yla herhangi bir ilgisi olmadığını öğrenmek sizi şaşırtmayabilir. Tabii, şimdiye kadar kimsenin bu parçacığın varlığını kanıtlayamamış olması dışında. Bu terimi Nobel ödüllü fizikçi Leon Lederman geliştirmiştir. Terim kısmen, bir parçacığın evrenle ilgili bütün soruları cevaplayacağını düşünen fizikçilere verilmiş esprili bir cevaptır, kısmen de bilimin keşiflerinin hayatın anlamı hakkında söyleyecek bir şeyi olabileceği düşüncesinin alaya alınmasıdır.*

Maalesef Tanrı parçacığı bunların hiçbirini yapmaz. Bize evren hakkında her şeyi söylemediği gibi hayatın anlamını da vermez. Fakat bu Higgs bozonunun aramaya değer olmadığı anlamına gelmiyor. Higgs bozonu, standart parçacık fiziği kuramının nihai parçasıdır. Varsa, evrenin asli doğasının büyük bölümünü ortaya çıkardığımızdan ve maddelere kütlelerini neyin verdiğini bulduğumuzdan emin olup dinlenebiliriz. Yoksa tahtanın başına yeniden dönmemiz gerekebilir.

Bu oyunun sahneleneceği yer İsviçre'dir. Cenevre'deki Avrupa Nükleer Araştırmalar Örgütü'nün binasında bulunan dünyanın en güçlü parçacık hızlandırıcısı fizikçilerin "standart fizik modeli" dediği şey hakkında hakikatin tellali olacaktır. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı protonları son derece hızlı iki trenin gücüyle çarpıştırdığında Tanrı parçacığı ortaya çıkabilir. Dünyanın dört bir yanında fizikçiler tetikte, Peter Higgs'in 1964'te söylediklerinde haklı olup olmadığını görmeyi beklemektedirler.

## Higgs Bozonunun Doğuşu

Peter Higgs'in iddiası bir hayli doğrudandır. Higgs, kütlenin kökenini incelemeye yönelik çeşitli girişimlere cevaben kuramsal fiziğin yeni bir alanın varlığını nasıl mümkün kıldığını betimleyen bir makale kaleme almıştır. Bu alan, kütleçekim alanı ya da elektromanyetik alan gibi bilinen alanlara bir ilave olacaktır. Büyük Patlama'daki ateş topunun ardından evren soğurken bu alan ortaya çıkmış, belli parçacık tipleri için bir sürüklenme kaynağı oluşturmuş, belki de onlara kütle olarak bildiğimiz özelliği vermiş olabilir.

Makale başta *Physics Letters* dergisinin editörü tarafından, "fizikle belirgin bir ilgisi olmadığı" gerekçesiyle reddedilmiştir. Higgs bu fikre somut bir uygulama alanı vermek için bu makaleyi yeniden kaleme almıştır: Bahsettiği alanın çekirdekdeki parçacıkları bir arada tutan kuvvette doğabileceğini söylemiştir, fakat yine kimse bununla fazla ilgilenmemiştir. Steven Weinberg, Sheldon Glashow ve Abdus Salaam elektromanyetik ve zayıf nükleer kuvvetleri birleştirmeye çalışıncaya dek.

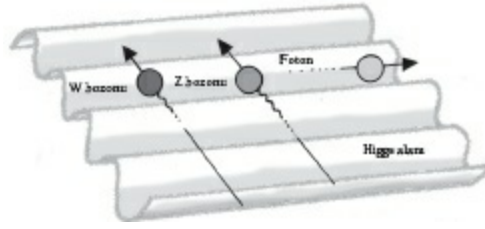
Bu iki kuvvetle ilgili kuramlar, birçok bakımdan tekinsiz derecede benzer görünmektedir. Kuantum elektrodinamiği olarak bilinen elektromanyetik kuvvet kuramı ile bazı radyoaktivite biçimlerini yaratan ve güneşin nükleer füzyonunu besleyen "zayıf" nükleer kuvvet kuramı madalyonun iki yüzünü andırmaktadır (bkz. *Doğanın En Güçlü Kuvveti Hangisidir?*). Weinberg ve Salaam, durumun gerçekten de böyle olduğunu göstermiş ve bu iki kuvveti "elektrozayıf" kuramda birleştirmişlerdir. Fakat bir sorun vardır. Bu kuram, kısaca W ve Z bozonları (bozon bir kuvvet yaratan bir parçacıktır) denilen henüz görülmemiş parçacıkların da parçacıklar bahçesine eklenmesini gerektirmiştir.

Biraz yüz kızartıcı bir durum, bu iki parçacığın kütleyle sahip olmasıdır. Bu yanlış görünmektedir; çünkü en meşhur bozon, elektromanyetik kuvveti yaratan fotondur ve fotonun kütlesi yoktur. W ve Z bozonları ile foton, birleşik bir kuram içinde aynı işi yapıyorlarsa, aralarında bir tür “simetri” olması gerekir. W ile Z bozonlarının kütleleri yüzünden aralarında bir simetri olmaması fizikçilerin, bir şeyin simetriyi bozduğundan şüphelenmesine yol açmıştır; tıpkı titiz bir biçimde dengelenmiş mutfak tartılarına bir parça ağırlık eklenmesinin hassas dengeyi bozması gibi. Peki, ama bu ağırlık neydi? Peter Higgs, cevap olarak kendi alanını gösterdi.

1967’ye gelindiğinde Weinberg ve Salaam, Higgs alanını elektrozayıf kuramla birleştirmişlerdi. 1983’te CERN’de W ile Z bozonları tam da Weinberg ile Salaam’ın tahmin ettiği biçimde görüldü. Bu bir zaferdi, parçacık fiziği seferinin kapanış marşıydı. Bir tek küçük ayrıntı dışında. Hiç kimse Higgs alanının gerçekten orada olup olmadığını bilmiyordu.

## Higgs’i Avlamak

Higgs alanını çok çeşitli biçimlerde hayal edebilirsiniz; fakat aslında bükümlü bir metalin içindeki oyuklara parmağınızı sürmeniz gerekir. Bu yüzey elinize düz gelir, parmağınız hiçbir dirençle karşılaşmadan oyuktan geçer. Şimdi parmağınızı oyukların üzerinden geçirin. Daha engellidir. Standart fizik modelinde, W ve Z bozonları açısından mesele budur. Foton her zaman Higgs alanındaki oyuklarda hareket ederken, öbür ikisi oyukların üzerinden geçer ve kütle olarak tercüme edilen bir direnişle karşı karşıya kalırlar.



*HIGGS ALANININ ETKİSİ*

Bu zarif bir fikirdir, fakat kanıtı ihtiyacı vardır. Ve Higgs alanının evrene gerçekten, W ve Z bozonları tarafından hissedilen, ama foton tarafından hissedilmeyen yönetsel bir “parçacık” kattığını kanıtlamanın tek yolu, bu alanın ürettiği parçacığı bulmaktır. Her alanın kendisine özgü bir parçacığı vardır. Elektromanyetik alanın parçacığı fotondur, kütleçekim alanının parçacığı gravitondur (gerçi hiç kimse şimdiye dek bir graviton görmemiştir), güçlü etkileşimse glüon tarafından sağlanır. Genel kabul gören bilgilere göre Higgs alanı, Higgs bozonu yüzünden şeyleri kütleyle donatır. Sorun şudur: Genel kabul gören bilgilere güvenebilir miyiz?

Fizikçilerin parçacık fiziği kuramlarına güvenleri sınırsız değildir. Parçacık fiziği kuramı bazı bakımlardan son derece başarılıdır. Varlığını tahmin etmiş olduğumuz parçacıkların hepsi (şimdiye kadar en azından Higgs parçacığı hariç) hep bulunmuştur; birçok durumda da kuram bize tam olarak nereye bakmamız gerektiğini söylemiştir. Fizikçiler parçacık enerjisini elektronvolt ya da eV olarak ölçerler; örneğin bir elektron 9 voltluk bir pilin terminalleri arasındaki voltaj tarafından çekildiğinde 9eV kinetik enerji kazanacaktır. Salaam ve Weinberg CERN araştırmacılarına parçacıkları 80 ve 90 gigaelektronvoltla (GeV) çarpıştırırlarsa W ve Z bozonlarını bulacaklarını söylemiştir. Olup biten de tam olarak budur.

Gelgelelim standart model her şeyi tahmin edemez. Standart modelin temel sabitlerinin 26’sının denklemlerle yazıya dökülmüş deneylerde bulunmuş olmasının gerekmesi, bir parça hayal kırıklığı

yaratmaktadır. Bazı parçacıkların da deneyip yanılma yoluyla bulunması gerekmiştir. Temel bir parçacık olan “üst kuark”ın mevcut olması gerektiğinin tahmin edilmesi ile bizim nihayet bu parçacığı bulduğumuz tarih arasında 20 yıl geçmiştir. Bu durum kısmen, kuramın bize nereye bakacağımıza dair hiçbir fikir vermemesinden kaynaklanmaktadır (“üst kuark” 170 GeV’de ortaya çıkmıştır). Maalesef Higgs bozonuyla aynı gemide bulunuyoruz. Orada olması gerekiyor, ama “ora”nın neresi olduğunu kimse bilmiyor. Bu yüzden de nihayet doğru enerjiye ulaşabileceğimiz ümidiyle çok daha büyük atom çarpıştırıcılar yapmayı sürdürüyoruz.

## Çarpıştır ve Yakala

Her şey, gözünüze görünüyor olabileceği kadar ümitsiz ve rastgele değildir. Atomları çarpıştırmanın deneysel bir araç olarak sağlam bir tarihi vardır. Nihayetinde Ernest Rutherford atom çekirdeğini böylelikle keşfetmiştir. 1909’da Rutherford, atomun pozitif ve negatif yüklerinin birbirine karışmış olduğunu öne süren “erik pudingi” atom modelini sınamaya karar vermiştir. Rutherford incecik bir altın yaprağına bir alfa radyasyonu huzmesi –esasen bir helyum atomunun çekirdeğini– ateşlemiştir. Alfa parçacıklarının çoğu bundan etkilenmemiş, fakat bazıları şiddetli bir biçimde hasar almıştır. Rutherford elde ettiği bulgulara bakarak buradan atomun merkezinde pozitif yükün yoğunlaşmış olduğu küçük bir alan bulunduğu, ara sıra gözlenen ciddi hasarlara bu alanın neden olduğu sonucuna varmıştır.

Rutherford’dan bu yana, çekirdeğin içindeki karmaşıklıkları araştırmak için çok çok daha büyük parçacık hızlandırıcılar inşa ettik; bu çabamız teknolojinin bugün geldiği noktada zirveye ulaştı: CERN’deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı. Medyadaki haberlere bakılırsa Higgs bozonunu tespit etmek için geliştirilen ilk parçacık çarpıştırıcıymış gibi görünse de Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ilk değildir. Higgs bozonunun hangi enerjilerde bulunabileceğini nasıl söyleyeceğimizi bilmediğimizden –standart model 96 GeV’nin muhtemel bir hedef olduğunu ileri sürmektedir– uzun yıllardır bu parçacığa rastlamayı umuyoruz. Fakat parçacık hızlandırıcı üstüne parçacık hızlandırıcı yeni umut ışığı olarak göklere çıkarılmıştır, ama hâlâ oralara varabilmiş değiliz.

Ciddi bir şansı olan ilk çarpıştırıcı CERN’deki Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı’ydı (bkz. *Neden Hiçbir Şey Yoktur da Bir Şey Vardır?* ). Çevresi 27 kilometre olan dairevi bir tünelin içine yerleştirilmiş olan LEP, elektronları ve pozitronları ışık hızına yakın bir hızda hızlandırıyordu. 4600 miknatıstan oluşan bir halka bu parçacıklara İsviçre sınırından Fransa’ya, Jura Dağları’nın eteklerine uzanan bir daire içinde kılavuzluk ediyordu; elektronlar bir yöne, pozitronlar başka bir yöne gidiyordu. Miknatıslar, bu huzmelerin birbirine girmesine kılavuzluk etmesi için sıkıştırılabiliyor; böyle çarpışmalardan bir parçacıklar şalesi boşalabiliyordu. Her biri küçük bir ev büyüklüğündeki dört büyük detektör, bu parçacıkların izlediği yolu tespit ediyordu. Deneyler saatlerce sürüyor, saniyenin her 22 milyonda birinde olası çarpışmalar meydana geliyordu. Daha sonra bilim insanlarının detektörlerin çıktısını incelemeleri, elektron ve pozitron birbiriyle çarpıştığında neler olduğunu ortaya çıkarmaları gerekiyordu.

## Higgs’e Bir Bakış

1989’da işlemeye başlayan Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı parçacıkları 45 GeV’ye hızlandırıyordu, bu Z bozonu üretmek için yeterli bir enerjydi. Daha sonraki yükseltmeler çarpıştırıcının W bozonu üretmesini de sağladı. Kapatılma vakti geldiğinde Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı 209 GeV’de faaliyet gösteriyordu. Fakat bundan hemen önce, Eylül 2000’de Higgs

bozonuna benzeyen bir şeyin hayret verici bir görünümünü yakaladı.

Bu gözlem 115 GeV'nin bir parça daha altında kalan enerjilerde gerçekleşen çarpışmalarda yapılmıştı; standart modelin bakış açısına göre bu anlamlı bir gözlemdir. Maalesef bunu istatistiksel bakımdan anlamlı bir sonuç haline getirmeye yetecek kadar gözlem yoktur. Einstein'ın  $E=mc^2$  enerji-kütle denklemi kullanılarak varılan tek sonuç Higgs bozonunun 114 GeV'den daha ağır olduğu olmuştur.

Higgs bozonunun kütlesi üst kuarka ve W bozonunun kütesine sıkı sıkıya bağlıdır. Bilim insanları bu kütleleri daha kesin bir şekilde belirlerlerken, Higgs bozonunun belirebileceği enerji ölçekleri yelpazesi giderek daralmaktadır. W bozonunun kütlesi üzerindeki son kısıtlama, 153 GeV'de en muhtemel Higgs'i ortaya çıkarmıştır ve şimdi de Higgs bozonunu bulma çabası devam etmektedir. 2009'da Fermilab'daki bilim insanları, 2010 sonu gelmeden Higgs bozonunu bulma şanslarının yarı yarıya olduğunu duyurdular. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı araştırmacıları bu noktaya kısa süre sonra varabilirler. Dünyanın en güçlü makinesi olan bu yeni çarpıştırıcı Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı'nın 2000 yılında boşalttığı tüneli işgal etmektedir. Protonları ve antiprotonları ışık hızının yüzde 99.9999991'i oranında hızlandıracaktır; etkileyici bir orandır bu. Parçacıklar 14 TeV'de (tetraelektronvolt) birbiriyle çarpışacaktır. Bütün bu enerjinin sadece bir milimetrenin binde biri ötede yoğunlaşıp huzmeler oluşturması yüzünden, bazıları çarpıştırıcının felaketi andıran beklenmedik sonuçlara yol açabileceğinden kuşkulandırlar (bkz. kutu: *Higgs Bozonunu mu Bulacağız Yoksa Dünyayı mı Yok Edeceğiz?*).

# Yüksek Enerjili Parçacık Hızlandırıcılar

İSİM	ÇARPIŞTIRILAN PARÇACIKLAR	ENERJİ
Stanford Lineer Çarpıştırıcı (SLC)	elektron, pozitron	100 Gev
Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı	elektron, pozitron	200 Gev

CERN-LEP)		
Relativistik Ağır İyon Çarpıştırıcısı	ağır iyonlar	200 Gev
Tevatron (FNAL)	proton, karşı proton	2 Tev
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı		



(CERN-Large Hadron Collider/LHC)

proton-proton; iyon-iyon

14 Tev

Teknik meseleler, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın çalıştırılmaya başlamasında ciddi ertelemelere yol açmıştır; fakat bu aygıt Higgs parçacığını tespit etme konusunda hâlâ en büyük ümittir. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın anlamlı bir veri üretmesi yılları alabilir. Detektörleri muazzam derecede karmaşıktır, öngörülemez miktarda ayar gerektirmektedir. Bu ayarlar yapıldığında deneyler başlayacaktır. Peki Higgs bozonu Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ortaya çıkmazsa ne olur? Çarpıştırıcının 2,6 milyar sterline mal olduğunu düşünürseniz böyle bir durum kulağa sarsıcı gelebilir; ama fizikçiler bozonun ortaya çıkmasının kaçınılmazlığı konusunda son derece iyimserdir.

### Bir Süpersimetri İşareti

Kabul edilen görüş, Higgs bozonu olmazsa standart fizik modelinin sarsılıp çökeceği yönündedir.

Kütleli foton ile kütleli olan W ve Z bozonları arasındaki asimetrinin açıklanması Higgs bozonunu ya da onun gibi bir şeyi gerektirir. Fakat burada bile düzensizliğe yer vardır. Örneğin bazı fizikçiler Higgs imzasının neye benzeyeceğine dair anlayışımızı aşırı basitleştirmiş olduğumuzu iddia etmektedirler. İşler daha karmaşıklaştıkça bunun sebebi standart modelin sunduğu betimlemelerin ötesine geçen bir kuramın bulunmasıdır. Bu kurama “süpersimetri” denir.

Süpersimetriye göre, bütün parçacıkların kendilerinin daha ağır bir versiyonu olan bir “süper eşi” vardır. Elektronun eşi selektrondur. Kuarkların eşleri skuarklardır, böylece devam eder. Süpersimetri, muhtemelen istediğimizden çok daha karmaşık bir parçacık bahçesi yaratır; fakat bu fikrin bir ağırlığı vardır. Daha da önemlisi doğadaki bütün kuvvetleri “birleştirmekle” ilgili çok sayıda güçlüğü çözmektedir. Örneğin elektromanyetik ve zayıf kuvvetler arasındaki bağlantı, bütün kuvvetlerin Büyük Patlama sonrasında tek bir süperkuvvetten doğduğuna işaret etmektedir. Şeyler soğuyup daha düşük enerjiye indikçe, süperkuvvet şimdi bildiğimiz kuvvetlere ayrılmıştır.

Süpersimetri, Higgs bozonuyla ilişkilendirilebilecek en az beş parçacık olduğunu düşündürmektedir. Peki bunun araştırmalara katkısı nedir? Eh, tahmin edebileceğiniz gibi, bu durum araştırmaları istediğimizden daha karmaşık hale getirmektedir.

### *HIGGS BOZONUNU MU BULACAĞIZ YOKSA DÜNYAYI MI YOK EDECEĞİZ?*

*Büyük Hadron Çarpıştırıcısı o kadar güçlü bir makinedir ki evrenin dokusunun büküp yırtabilir, peki o halde Dünya'yı da yok edebilir mi? Bu soru yoğun tartışmalara hatta hukuki işlemlere konu olagelmıştır, fakat cevabı neredeyse kesinlikle hayırdır. Mesele, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda çarpıştırılan parçacıklardaki yüksek enerji yoğunluğudur. Bu enerji muazzam boyutlarda değildir, küçük bir böceğin kinetik enerjisine yakındır. Fakat uzayın çok küçük bir bölgesinde yoğunlaşmıştır. Einstein'ın görelilik kuramından enerjinin uzayı büküğünü biliyoruz. Uzayın deneyimlemekte olduğumuz üç boyuttan daha fazlasına sahip olduğu bazı evren modellerinde böyle bir enerji yoğunlaşması, küçük kara delikler yaratabilir; öyle ki bu küçük kara deliklerde uzayın aşırı boyutlarda eğilmesi uzay ve zamanda aslında bir delik olabilecek bir şeyi yaratır.*

*Bu senaryoya göre, kara delikler saniyenin bir bölümünde genellikle ortadan kaybolur ve hiçbir tehdit oluşturmazlar. Fakat ciddi bir boyutta büyüyüp gerçek bir tehlike haline gelmeleri yönünde küçük, fakat sonlu bir olasılık vardır. Yani felaket tellallarının kuramı budur. Gerçeklik çok daha düzdür. Korku hikâyeleri, araştırmacıları, ince bir fırçayla kuramın üzerinden geçmeye itmiştir. Araştırmacılar felaket olasılığının son derece küçük olduğu konusunda ağız birliği etmişlerdir.*

*Fakat belki de bundan daha önemlisi, kuram neyin olabileceğini (ama son derece olasılık dışı olduğunu) söylese de aslında elimizde tartışmayı etkileyecek bazı deneysel sonuçların bulunuyor olmasıdır. Atmosferimizin yukarı kısımlarında dış uzaydan gelen elektrik yüklü parçacıklar Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda olabilecek çarpışmalardan çok daha yüksek enerjili çarpışmalara sebep olmaktadır. Bu çarpışmalar saniyede 10.000 milyar Büyük Hadron Çarpıştırıcısı çarpışması oranında gerçekleşmektedir. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın güvenlik raporunun da ortaya koyduğu üzere “Evrenin tarihi boyunca Doğa, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı projesinin 1031 katını gerçekleştirmiştir.” Bu 10.000 milyar milyar milyar Büyük Hadron Çarpıştırıcısı demektir; bir kara deliğin açılıp da Dünya'yı yutması yönünde hiçbir işaret belirmemiştir. Sadece buna dayanarak bile, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın insanlığın geleceği açısından bir tehdit oluşturduğunu düşünmeyi gerektirecek bir sebep yoktur.*

## Higgs İzi

Süpersimetrik Higgs parçacıklarının her biri, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın detektörlerinde farklı bir çürüme imzası bırakacaktır. Her imza, belli enerjilerde var olan, sonra da çürüyüp belli özelliklere sahip başka parçacıklara dönüşen bir parçacık izinin biçimini alır. Her ne kadar bu izi belirlemek, tek bir Higgs bozonunu tespit etmekten çok daha kolaymış gibi görünse de hakikat şudur ki bu karışıklık Higgs bozonunun kaçırılmasını ya da Higgs olmayan başka parçacıkların çürümelerinden yanlış bir pozitif sinyal almayı kolaylaştıracaktır.

Bu Higgs parçacıklarının enerjileri öyledir ki ABD'deki en güçlü hızlandırıcı olan Fermilab'ın Tevatron'unda tespit edilmeleri imkânı da bulunmaktadır. Hatta Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı'nda çıkan verilerde de olabilirler; belki de doğru yere bakmamışızdır. Bu hâlâ cevaplanmayı bekleyen bir sorudur. Fakat bir süpersimetri imzası belirlenmesi büyük ödül olacaktır. Aslına bakarsanız CERN araştırmacıları, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın Higgs bozonunu bulmadan önce süpersimetrinin varlığına işaret eden kanıtlar bulmasını beklemektedir; bunlar süpersimetrinin varlığına dair ilk kanıtlar olacaktır.

Nihayetinde Higgs bozonunu bulsak bile kütlelerin kökeni tam anlamıyla açıklığa kavuşturulmuş olmayacaktır; parçacıkların sahip oldukları kütleyle neden sahip olduklarını yine anlayamayacağız; örneğin neden üst kuarkın kütlesi bir elektronun geri kalan kütlelerinin bir milyon katıdır? Higgs bozonu kütlelerin varlığını zayıf kuvvetin işleyişiyle uyumlu hale getirir; fakat kuarkları neden bu kadar fazla kütleyle sahip kıldığı bir muammadır. Bunun da ötesinde bir protondaki kuarkların kütlesi, kuarkları bir arada tutan enerjiye eklendiğinde bile protonun kütlelerine eşit olmaz.

Kütle avcılarını bekleyen başka kötü haberler de vardır: Elimizde henüz elektronun kütlelerine dair bir açıklama bulunmuyor. Nihayetinde hızlandırıcılarımızda ne olursa olsun, açıkça görülüyor ki Tanrı parçacığı fiziğin geleceği açısından isminin bizi öyle olduğuna inandırabileceği kadar önemli değildir. Bu parçacığı –ya da ona benzer bir şeyi– görmek heyecan verici olacaktır; fakat Tanrı parçacığımızın zayıf karnımız olduğunu da pekâla keşfedebiliriz.

# BEN EŞSİZ MİYİM?

*Evrenimizin sınırları ve  
paralel evren arayışları*

*Sizi siz yapanın ne olduğunu ya da hayatınızın benzersiz, önceden belirlenmiş bir amacı ve yolu olup olmadığını merak ediyorsanız fiziğin cevaplayabileceği düşünülen en büyük sorulardan birini sormuşsunuz demektir.*

Yazarların hep oynadığı bir sorudur bu. Bizim dünyamızdan ulaşılabilen başka dünyaların hikâyelerine edebiyatta sık rastlanır. Bu fikir bilim kurgunun başlıca fikirlerinden biridir, ama çocuklar için yazılmış kitapların da ana temalarından birini oluşturur: C.S. Lewis'ın kaleme aldığı dizinin kurgusal Narnia âlemi, Lewis Carroll'ın klasik hikayesi *Alice Harikalar Diyarında* gibi.

Fakat bu kitaplar, kendi dünyalarındaki zamanı yitirmeden paralel bir dünyaya ulaşan kahramanlarının benzersiz olduğunu varsayar. Bilincimizin sınırlı olduğuna hiç kuşku yoktur; bize yalnızca bir tek “ben” olduğunu söyler: Herhangi bir anda ancak bir tek yerde olabilirim. Fakat Zen benzeri bilinç sorununu ve “Ben”in ne olduğunu bir kenara bırakırsak başlıktaki soruya cevabımız neredeyse kesinlikle dosdoğru bir hayır olacaktır: Hayır, benzersiz değilsiniz. Gelgelelim bu cevaba varırken izlediğimiz yol dosdoğru olmaktan uzaktır.

Neden benzersiz olmayabileceğinizin üç sebebi vardır, bunların hepsi de evreni anlama biçimimizin temelinde yer alır. Biri evrenin fiziksel genişliğiyle, bir ucu olup olmadığı sorusuyla ilgilidir. İkincisi Einstein'ın “hayatımın en büyük hatası” dediği şeyle ilgilidir ve yaratılışın ilk anlarından çıkıp gelerek sonsuz geleceğimizle ilgili sorular yöneltir. Üçüncüsü ise kuantum dünyasının temel doğasını araştırır. “Ben eşsiz miyim?” sorusu başta kulağa aptalca gelse de artık öyle gelmemektedir. Bir yerlerde gerçekten başka bir siz olup olmadığı meselesi aslında evren hakkında ne kadar bildiğimizi sormakla aynı şeydir.

Buna cevap vermenin en basit yolu, evrenin boyutlarını incelemektir. Burada fizikçilerin aralarından seçim yapabileceği üç olasılık bulunmaktadır. Muhtemelen evren genişliği bakımından sonsuzdur. Ya da sonlu olabilir, fakat bir tenis topunun üzerindeki bir karınca gibi, bizler kenarına hiçbir zaman ulaşamayabiliriz. Üçüncü seçenek de evrenin sonlu olmasıdır, ama öyle bir geometrisi vardır ki bir kenarından düşebilirsiniz.

Evren sonsuzsa benzersiz olmadığını düşünmek için iyi bir sebebiniz var demektir. Evren sonsuz sayıda dünya içerecek olsa da, bu yüzden Dünya benzeri hayatın olacağı sonsuz sayıda dünya içerecek olsa da öyle görünüyor ki bir molekül kümesinin bir canlı ortaya çıkarabilecek şekilde yapılandırılmasının da o kadar çok yolu olacaktır. Bu da bir yerlerde sizin bir karbon –şaka olsun diye diyorum– kopyanızın bulunduğu anlamına gelebilir.

Elbette ki bu iddiaya hemen karşı koyacaksınız, bütün molekül yapıları birbirine benzer olsa bile bunların bir siz daha yapmayacağını söyleyeceksiniz. Hatıralar ve deneyimler meselesi var bir de; peki ama bunlar bir tarafa bırakıldığında, *siz* tam olarak nesiniz? Kendimizin önüne geçiyoruz, bu aşamada bunun yüzleşmemiz gereken bir soru olup olmadığını bilmiyoruz. Şimdi elimizde, evrenin sonlu mu yoksa sonsuz mu olduğu sorusu var.

Sonsuzluk ve Ötesi

Bilim insanları ve filozoflar uzun zaman boyunca evrenin boyutları üzerine düşünmüşlerdir; fakat tarihin büyük bölümü boyunca, evrenin sonlu olduğu düşünülmüştür. MS 140 civarında, Batlamyus evreni dünyayı merkez alan sonlu bir küre olarak düşünmüştü. Fakat 1576'ya gelindiğinde biri çıkıp aksini iddia etti. İngiliz gökbilimci Thomas Digges bizim güneşimize benzer yıldızlarla dolu sonsuz bir evren fikrini ortaya attı. Digges İtalyan filozof Giordano Bruno'dan daha şanslıydı. Bruno birkaç yıl sonra benzer bir iddiada bulunduğu, Roma Katolik Kilisesi yetkililerinin gazabını üzerine çekti ve bu yüzden yakılarak cezalandırıldı.

Evrenin genişliği konusunda hâlâ bundan daha bilgili değiliz. Kozmik mikrodalga arkaplan ışınımına, Büyük Patlama'nın yankılarına dair gözlemler evrenin sonlu olabileceğine işaret ediyormuş gibi görünmektedir. Bu ışınım tayfindaki anormalliklere dair en beğenilen açıklamalar kozmosun büyüklüğünün bir sınırı olabileceğini düşündürmektedir, fakat buna rakip birçok açıklama vardır. Dolayısıyla evrenin sonsuz olup olmadığına emin olmadığımızdan, uzaktaki bir dünyada bir başka siz olup olmadığını söyleyemeyiz. Belki de elimizdeki ikinci olasılık, Einstein'ın en büyük hatasıyla ilgili olan olasılık meseleyi biraz daha aydınlatılabilir.

## Evrenler Bolluğu

Bu olasılık, "sonsuz genişleme teorisi" diye bilinen şeyle başlar; bu teoriye göre peş peşe patlak veren, sonra birbirinden doğan evrenler bulunmaktadır. Kulağa tuhaf gelse de bunun doğal, devam etmekte olan bir senaryo olduğuna dair bir hayli kanıt bulunmaktadır. Bu fikir 1970'li yıllarda fiziğe musallat olan bir anormalliğin keşfiyle birlikte doğmuştur. Kozmik mikrodalga arkaplan ışınımının 1963'te keşfedilmesinden bir on yıl sonra, pek az kişinin evrenin başlangıcının bir "Büyük Patlama"ya dayandığına dair kuşkuları vardı. "Büyük Patlama" terimi ilk kez Fred Hoyle tarafından ortaya atılmıştır; Hoyle bu fikre en sert eleştirileri getirenlerden biri olmuştu, bu terimle evrenin patlayarak varlık bulduğu fikrine karşı çıkıyordu; fakat kanıtlar iyiydi, isim tutmuştu ve belki de en önemlisi yaratılışla ilgili baskın dini görüşlere hoş bir biçimde uyuyordu. Fakat bir sorun vardı. Gördüğümüz evren, tek başına bir büyük patlamayla açıklanamazdı.

Öncelikle, görelilik bize enerji ve maddenin varlığında uzay ve zamanın büküldüğünü söyler (bkz. *Elma Neden Düşer?*).



Bunun evrenimiz üzerinde derin bir etkisi olacaktır; görelilik evrenin bütün geometrisini değiştirecektir. Bu geometri değişikliğinin yol açtığı sonuçlar ne kadar madde ve enerji bulunduğuyla bağlıdır. Yüksek yoğunluklarda uzay ve zaman felakete yol açacak bir biçimde bükülebilir, evreni

kapatabilir. Düşük yoğunluklarda Büyük Patlama'nın genişletici gücü evrenin ilk zamanlardaki şekline hükmetmiş, içindeki her şeyi yıldızlar ve galaksiler (ve üzerinde yaşanabilir gezegenler) oluşturamayacak kadar birbirinden uzağa fırlatmış olsa gerek. Gelgelelim evrenimiz, nihayetinde bizlerin var olmasını mümkün kılacak “düz” bir geometriyle kurulmuştur. Soru şudur: Evrenin neden bu kadar mükemmel olması gerekiyor?

Kozmologların karşı karşıya olduğu tek zor soru bu “düzlük sorunu” değildir. Bir de “ufuk sorunu” vardır. Bu sorun evrenin karşıt uçlarındaki ısının aynıymış gibi görünmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun böyle olabilmesinin tek yolu, ısının evrende eşit bir biçimde dağılmış olmasıdır; fakat evrenin, bunun gerçekleşmeyeceği kadar büyük olduğunu biliyoruz. Isı fotonlar tarafından taşınır, fotonlar radyasyon (ışınım) parçacıklarıdır. Fotonlar ışık hızıyla yol alsalar bile, evrenin tamamında yol almalarına, ısıyı bir uçtan diğerine taşımalarına, böylece kozmosta sıcaklığın yoğunlaştığı noktalar bulunmamasına yetecek zaman olmamıştır.

### Kurtarıcı Genişleme

1980'lerin başında fizikçiler bu iki sorunu tek bir darbeye çözdüler. Bu çözüme “genişleme” dendi; Büyük Patlama'dan hemen sonra evrenin çok hızlı bir genişleme sürecine girdiği ileri sürülüyordu. Kimse bunun neden ve nasıl olabileceğini bilmiyor olsa da bir genişleme süreci, kozmologların Büyük Patlama'yla ilgili olarak karşı karşıya oldukları sorunlara verilmiş en iyi cevap olmayı sürdürmekte; ısının dağılımını ve evrenin düzlüğünü açıklamaktadır. Aynı zamanda ikinci bir size giden bir yol açmaktadır.

İnsanlar neredeyse otuz yıldır olası genişleme mekanizmaları hakkında fikir yürütüyor. En beğenilen fikirler genişlemenin hiç bitmeyen bir hikâye olduğunu ileri sürüyor. Uzay-zamanın küçük bir parçası havaya uçarsa bu durum tekrar gerçekleşebilir. Bu kaotik genişleme teorilerine göre, boş uzaya içkin olan dalgalanan enerji, bizim uzay ve zamanımız içinde herhangi bir yerden yepyeni koca bir evrenin şişip genişlemesine yol açabilir. Willy Wonka'nın çikolata fabrikasını andıran bir süreçle, her zaman eski evrenlerden yeni evrenler şişip doğmaktadır. Nihayetinde her bir evrenin ağzı kopacak, onu kendisini doğuran evrenden ebediyen ayıracaktır.

Fantastikmiş gibi görünse de sicim kuramcılarının kendi sorunlar dizisini çözecek bir fikir gibi görüp sarılmalarıyla birlikte bu senaryo büyük bir yükseliş yaşadı. Sicim kuramı Einstein'ın görelilik kuramıyla kuantum dünyasının tuhaflığını birleştirerek “nihai” bir fizik kuramı yaratma yönünde bir girişimdir. Kuramın temel fikri bütün maddenin titreşen küçük enerji düğümlerinden oluşmuş olduğudur; titreşimlerin frekansı nasıl bir maddenin ortaya çıkacağını belirler. Sicim kuramcıları bunun ne tür bir evren yaratacağını hesaplamaya çalıştıklarında, daha ziyade bizimki gibi görünen ve davranan bir evrenle karşılaşacaklarını umuyorlardı.

Öyle olmadı. Ne kadar çabaladıysa da içinde yaşadığımız evrene benzer tek bir sicim evreni yaratamadılar. Aksine, her biri farklı niteliklere sahip binlerce evren yarattılar. 1998'de evrenin genişlemesinin hız kazandığının keşfedilmesiyle birlikte bu sorun ağırlaştı. Evrenin hâlâ genişliyor olmasını –Büyük Patlama'nın etkisi hâlâ güçlüdür– bekliyor olsak da evrendeki her şeyin kütleçekim çekimi genişlemenin aleyhine işlediğinden, genişlemenin yavaşlıyor olması gerekir. Genişleme hızlanıyorsa bilinmeyen bir güç iş başında demektir.

Fizikçilerin bu hızlanmayla ilişkilendirilen enerjinin yaklaşık olarak kozmostaki toplam kütle ve enerjinin yüzde 70'ini oluşturuyor olduğunu ortaya çıkarması uzun sürmemiştir. Adına ne dersiniz

deyin –fizikçiler buna karanlık enerji der– bu enerji hakkında bilinmeyen çok fazla şey vardır.

## Einstein'ın Hatası

Karanlık enerji gizemine verilecek en iyi cevap, Einstein'ın evreni tanımlayan ilk denklemlerine eklediği matematik bir terimle ilişkilidir. Einstein bir Büyük Patlama hakkında hiçbir şey bilmiyordu; evrenin genişliyor değil, statik olması gerektiğini düşünüyordu. Maalesef denklemleri dengesiz bir evren ortaya çıkardı; bu yüzden de düzgün, statik bir evren yaratmak için “kozmojik sabit” olarak bilinen terimi denklemlerine dahil etti. Büyük Patlama'nın keşfinden sonra da bunun “en büyük hatası” olduğunu söyledi.

Gelgelelim karanlık enerjinin keşfinin ardından kozmojik sabit yeniden moda olmuştur. Bu terimin evrenin neden hiç olmadığı kadar hızlı bir biçimde genişlediğini açıklayabileceği düşünülüyordu. Fakat terim bunu açıklayamıyordu; hem de dikkat çekici bir biçimde açıklayamıyordu. Bu sabit için hesaplanan değer ölçülen değer yaklaşık 10120 katı olarak çıkıyordu. Yani arkasında 120 tane sıfır olan 1: Fizikçiler bile bu değeri bilim tarihinde kuram ile deney arasındaki en yüz kızartıcı uyumsuzluk olarak nitelemişti.

Fakat sicim kuramının buna bir cevabı vardır: Bir evrenin neden olduğu gibi olduğunu anlamaya çalışmayın; farklı dünyaların çoğulluğunun keyfini sürün yeter. Kaotik genişleme bu dünyaların hepsinin de var olduğunu söyler, sicim kuramı da. Evet, kozmojik sabitin açıklanamayacak kadar küçük olduğu bir evrende yaşıyoruz; peki ama neden doğadaki sabitlerin değerlerini sıfırdan hesaplayabilmemiz gerektiğini düşünüyoruz ki? Sabitler neyse odurlar; hepsi de sicim kuramının var olduğu tahmininde bulunduğu evrenler manzarasının her birinde birbirinden farklılık gösterir.

Kuramsal fizik cephesinde halihazırda geçerli olan düşünce, kozmojik sabitin açıklanamaz değerinin bir sorun olmaktan ziyade, sicim kuramının doğru yolda olduğunun bir kanıtı olduğu yönündedir. Bu biraz bükülmüş bir mantık olarak görülebilir; fakat sicim kuramcıları haklılarsa, size doğru giden bir başka yola işaret etmektedirler. Sonu gelmeyen kaotik genişleme yoluyla birbirinden doğan engin evrenler manzarasının bir sonu yoktur. Bu evrenlerin doğalarının sabitleri etkili bir biçimde rastgele olsa da bazıları bizimkine benzer olacaktır. Bu da gezegenlerin oluşacağı, yıldızların ortaya çıkacağı ve bir araya toplanıp galaksiler oluşturacağı, karbon gibi elementlerin bu yıldızların yanan çekirdeklerinde sentezleneceği anlamına gelir. Hayat ortaya çıkacaktır; bazı durumlarda da insanlar.

Ve işte “oradasınız.” Tam olarak sizin genetik bileşiminize sahip bir şeyin başka bir evrenin bir yerlerindeki mavi-yeşil bir gezegende ortaya çıkması ihtimali sonsuz derecede küçüktür. Fakat sonsuz sayıda evrenin varlığına izin verirsek bu küçük olasılık kesinliğe dönüşür. İkizinizle karşılaşacaksınız demek değildir bu. Yeni bir evren şişip ayrıldığında, aradaki temas sonsuza dek ortadan kaybolur. Siz kendi uzayınız ve zamanınıza kısılıp kalırsınız; ikiziniz de ayrı ve ulaşılamaz bir kürede kalır.

## Sonu Olmayan Dünyalar

Gelgelelim şişip genişleyen bir evrenin tuhaflığı, çoğulluk yolundaki üçüncü ve son şansınızın yanında solda sıfır kalmaktadır. Kuantum kuramı bir başka sizin bulunması ihtimaline kapı aralamakla kalmaz, neredeyse sonsuz sayıda siz olduğu argümanına da kapı aralar. Buradaki bükülme, her bir sizin hayatta farklı bir tercih yapmış olmasıdır. Bu, kuantum kuramının “çok dünyalı” yorumudur ve



gerçekten de insanın zihnini bükür.

Kuantum kuramının birkaç yorumu vardır ve bunların her birinin de açıklanamayacak olanı açıklaması gerekir. Kuram, kuantum parçacıklarının –atomların, elektronların, foton olarak bilinen ışık enerjisi kurşunlarının– herhangi bir anda, birden fazla halde bulunmasını mümkün kılar. Bu fenomen süperpozisyon olarak bilinir ve derin bir gizemdir. Örneğin bir elektron aynı anda hem saat yönünde hem saat yönünün tersine dönebilir. Bir foton aynı anda hem orada hem burada bulunabilir. Bir atom iki farklı enerjiye sahip olabilir.

Süperpozisyonun klasik gösteriminde fizikçiler dikey iki dar kesiğin açıldığı bir ekrana elektron ateşlerler. Elektron akışı o kadar yavaştır ki aygıtta herhangi bir anda yalnızca bir tek parçacık vardır. Bizim düşünme biçimimize göre, elektron kesiklerin birinden geçecektir. Kesiklerin arkasına katot ışın tüplü bir televizyon ekranına benzer fosforlu bir ekran yerleştirdiğimizde, elektronların konduğu yerlerde parlak noktacıklardan oluşan iki küme görmemiz gerekir: Biri soldaki kesiğin arkasında, diğeri sağdaki kesiğin arkasında olacaktır. Ama görmeyiz. Karışım örüntüsü olarak bilinen bir dizi ışıltılı bant görürüz.

Karışım dalgalarla ilişkilendirdiğimiz bir şeydir. Okyanus dalgaları birbirine karışır: dalgaların tepeleri birleştiğinde güçlenirler ve su yukarıya doğru birikir. Dalgaların dip noktaları –aslında negatif miktarda su– birleştiğinde, sonuçta ortaya daha derin bir dip nokta çıkacaktır. Bir tepe nokta dip noktayla birleştiğinde, birbirlerini ortadan kaldıracaklar ve su düz akacaktır.

Thomas Young'ın iki yüzyıl önce gösterdiği üzere, aynı şey ışık için de geçerlidir. Young, Newton'ın ışığın parçacık olduğunu söyleyen kuramını bir kenara iterek ışığın bir dalga olduğunu göstermişti. Yukarıda tarif ettiğimize benzer bir biçimde iki kesiğin hazırlandığı, fakat kesiklerden ışığın geçtiği bir deneyde, Young'ın ekranında bir dizi parlak ve karanlık bant görünmüştü; bu ancak kesiklerin ikisinin de ikincil ışık kaynakları olarak davranması durumunda erişilebilecek bir sonuçtu; ortaya çıkan iki ışık dalgası birbirine karışıyordu.

O halde iki kesik deneyindeki tek bir elektrona geri dönecek olursak karışım örüntüsünü nasıl açıklayacağız? Tek bir parçacık varsa nasıl olur da karışım olabilir? Cevap şurada yatmaktadır: Elektronun kesiklerin birinden ya da diğerdinden geçmesi gerektiğini düşünelim de aslında o ikisinden birden geçer. Bir elektron parçacık olabilir, ama aynı zamanda dalgadır.

Bu paradoksun öyle kolayca varılacak bir çözümü yoktur; kuantum kuramının icadından bu yana dünyanın en büyük zihinleri bunu tartışıyor. Gelgelelim 1950'lerde, Hugh Everett bu sorunu radikal bir biçimde ele aldı. O dönemde bu bakış açısı çok alaya alınmıştı, ama bugün destek bulmaktadır. Fikir basittir. Bir kuantum parçacığı ne zaman bir tercihle karşı karşıya kalsa yeni dünyalar yaratılır: Bütün seçeneklerin gerçekleştiği dünyalar.





# OLUŞTURAN ÇOKLU EVREN

## Her An Yeni Bir Evren

Everett'in fikrinin neden alayla karşılandığını anlamak kolaydır: Bir yıldızdan bir fotonun püskürtüldüğü ya da insan retinasındaki bir atomun bir foton emdiği her seferde bir dünyanın yaratıldığı fikrini kim hazmedebilir ki? Bunların her ikisi de bir kuantum parçacığının diğeri tarafından hazmedildiği kuantum olaylarıdır. Sırf gökyüzüne baktığımız için yeni bir evrenin mecburen varlık bulduğuna gerçekten inanabilir miyiz? Everett bu fikri yayınlamasından kısa bir süre sonra fiziği bırakmıştır; fakat yine de bir dizi destekleyici bulmuştur. Bunun sebebi her ne kadar tuhaf görünse de büyük ölçüde aslında kuantum dünyasının tuhaflığına makul bir çözüm öneriyor olmasıdır.

Everett'in birçok dünyanın varlığını öngören yorumuna göre, elektron iki kesikten birinden geçme seçeneğiyle karşı karşıya kaldığında bir süperpozisyon hali almaz; ama dünyayı ikiye böler. Bir dünyada sol kesikten geçer. Diğer dünyada sağdaki kesikten geçer. Farklı dünyaların hiç bilincinde olmasak da elektronlar gibi kuantum parçacıkları bu bölünmenin öte yakasında farklı dünyaların etkisini hisseder. Gördüğümüz örüntü, farklı dünyalardaki elektronlar arasındaki karışımın bir sonucudur. Bu bakış açısına göre, bizim gerçeklik olduğumu düşündüğümüz şey, her biri diğerinden biraz daha farklı olan sonsuz sayıda gerçeklikten yalnızca biridir. Ve bu gerçekliklerin her biri sizin bir versiyonunuzu içerecektir.

Öyle görünüyor ki Çok Dünyalı Yorum fizikçiler arasında yavaş yavaş büyüyen bir desteğe sahiptir; 1995'te kuantum kuramıyla ilgili bir konferansa katılan fizikçiler arasında gerçekleştirilen bir yoklamada, katılımcıların yüzde 60'ının bu yorumun kuramın doğru yorumu olduğuna inandığı görülmüştür. Gerçi bu tür yoklamalar bilimsel değildir ve her şeyin "doğruluğunun" bir göstergesi olamaz. İşte bu yüzden, diğer siz hakkındaki hakikati gerçekten de ortaya çıkarmaya niyetliyseniz, radikal bir öneriyi değerlendirmeniz gerekir: Kuantum intiharı.

Bu deneyin uygulanması son derece basittir, ama evde denemeyin. Deney, halihazırda elde mevcut olan teknolojiyi kullanarak bile gerçekleştirilebilir. Dolu bir silahı kafanıza dayarsınız ve ateşlemeye hazırlarsınız; böylece tetiği çekmeniz bir kuantum parçacığı üzerinde bir ölçüm gerçekleştirir –örneğin bir elektronun dönüşünü belirler. Sonuç "saat yönündeyse", etrafta toplanmış izleyenler bir klik sesi duyar. "Saat yönünün tersineyse" silah ateşlenir. Pek hoş bir görüntü değildir bu.

Fakat perspektifin her şey haline geldiği nokta da burasıdır. Everett birçok dünyanın varlığı hakkında haklıysa silahın ateş almadığı bir dünya her zaman var olacaktır. Dolayısıyla bilinçli varoluşunuz silahın ateş alıp almadığını hiç bilemez. On-on beş klik sesinin ardından, kuantum intiharının aslında yalnızca varoluşunuzun çoğulluğunu değil, ölümsüzlüğünüzü de takdir etmenin bir yolu olduğuna ikna olursunuz. Fakat bu bakış açısını başka kimseyle paylaşamayacaksınız. Dahası bir taşla iki kuş vurursunuz. Öteki sizi bulmuşsunuzdur; ama aynı zamanda onu geride bırakabilir, kuantum harikalar diyarındaki Alice gibi bir dünyadan diğerine atlayabilirsiniz.

# ZAMANDA SEYAHAT

# EDEBİLİR MİYİZ?

*Göreliliğin bilim kurguyla buluştuğu yer*

*“Bilim insanları zamanın yalnızca bir tür uzay olduğunu gayet iyi bilirler. Uzayda ileri geri gidebildiğimiz gibi zamanda da ileri geri gidebiliriz.” Bu sözler kulağınıza gelecekten ya da en azından şimdiden gelen bir iddia gibi gelebilir, fakat geçmişten gelmektedirler.*

H. G. Wells'in 1898'de yayınlanmış olan *The Time Machine* (Zaman Makinesi) adlı kitabında Zaman Gezgini'nin sarf ettiği sözlerdir bunlar. Gerçekten de dikkat çekici olan şey, Wells'in bilimden önce davranmış olmasıdır: Albert Einstein bu tarihten ancak yaklaşık 20 yıl sonra, zaman içinde böyle bir yolculuğun kuramsal olarak mümkün olabileceğini öngören kuramını yayınlamıştır; hatta o zaman bile, birilerinin bunu fark etmesi yılları almıştır.

Tuhaftır, Wells'in Zaman Gezgini yalnızca geleceğe seyahat eder. Fakat artık fizik kanunlarının zaman içinde ileri geri seyahat etmeyi mümkün kıldığını biliyoruz. Galaksiler kadar büyük, sonsuz uzunlukta dönen silindirler, tuhaf negatif enerji biçimleriyle açık tutulan kurt delikleri gibi fikirleri, hiç doğmamış olmak ya da serbest iradenizi kaybetmek arasında bir seçim yapma fikrini tasavvur edebiliyorsanız zamanda seyahat bilimiyle uğraşmaya muktedir olabilirsiniz. Heyecanlı iniş çıkışlarıyla biraz sarsıntılıdır. Ama ödülü düşünülürse kesinlikle buna değer.

## Zaman İçinde İlmekler

Zamanda seyahat, zamana sıkışıp kalmış olduğumuz için bu kadar baş döndürücüdür. Başka boyutlarda yaptığımızın tersine, zaman içinde nasıl hareket edeceğimizi seçemeyiz. Fakat Wells, nasıl yapabileceğimizi bilseydik zamana tıpkı uzaya yaklaştığımız gibi yaklaşabileceğimiz yönündeki fikriyle turnayı gözünden vurmuştur.

<>

“Bilim insanları zamanın yalnızca bir tür uzay olduğunu

gayet iyi bilirler. Uzayda ileri geri gidebildiğimiz

gibi zamanda da ileri geri gidebiliriz.”

**THE TIME MACHINE, H.G. WELLS**





Einstein genel görelilik kuramını 1915'te yayınladı. Bu kuram evreni, üç uzay ve bir de zaman olmak üzere dört boyutlu bir doku olarak betimliyordu. Evrendeki her madde ve enerji parçası dokuyu bükür; evrenin şeklini, madde ve enerjinin kütleçekim dediğimiz çekimi deneyimlemesine neden olacak biçimde değiştirir. Örneğin güneş bu dokuda, momentumları olmasa yakındaki gezegenlerin içine düşebileceği bir tür kuyu yaratır. Sonuçta gezegenler güneşin yörüngesinde, bir kumarhanede bir rulet tekerleğinin merkezinin yörüngesinde dönerek hızlanan bilye misali döner.

Kütleçekimin bükülen ortamının uzay içinde hareketi nasıl etkileyeceğini tasavvur etmek kolaydır. Fakat aynı şey zaman içinde hareket açısından da geçerlidir, o da bükülür. Yeterince kütleyi ve enerjiyi yeterince küçük bir uzayda bir araya getirin, zamanı büküp bir ilmek haline bile getirebilirsiniz. Bu tıpkı bir plastik tabakasını uçlarını birleştirecek şekilde kıvrırmaya benzer, bitiş noktasına hiç ulaşmaksızın yüzeyin üstünde yürüyebilirsiniz. Evrenin bu yapılanması içinde, bir an kendisini sonsuzca tekrarlar.

Genel göreliliğin zaman içinde ilmekler yaratılmasını mümkün kıldığını ilk fark eden Avusturyalı matematikçi Kurt Gödel olmuştur. Gödel 1949'da, göreliliğin keşfinin evreni algılama biçimimizi nasıl değiştirdiğini betimleyen bir makalesinde, "bu dünyalarda geçmiş, şimdi ve geleceğin herhangi bir yerine seyahat etmenin, tam da başka dünyalarda uzayın uzak yerlerine seyahat etmenin mümkün olduğu biçimde mümkün olduğunu" yazmıştı.



“Bu dnyalarda geçmiş, şimdi ve geleceğin

herhangi bir yerine seyahat etmek, tam da başka

dünyalarda uzayın uzak yerlerine seyahat etmenin

mümkün olduğu biçimde mümkündür.”

**KURT GÖDEL**



Gödel Einstein'ın denklemlerini çözmüş ve evren dönüyorsa zamanın ilmekler içinde akabileceğini bulmuştu. Bu onu telaşlandırmıştı; Gödel Einstein'ın yakın bir dostu ve meslektaşı olduğundan ona vardığı sonuçları göstermişti. Einstein kendisinin de bu olasılıktan “rahatsız” olduğunu söylemişti. Gödel'in makalesine cevaben “Bunların fiziksel gerekçelerle bir kenara bırakılıp bırakılamayacağını tartmak ilginç olacaktır,” diye yazmıştı. Görünüşe bakılırsa Gödel de benzer bir fikre sahipti: Bir şeyin, böyle bir şeylerin vuku bulmasını durdurması gerektiğini ileri sürmüştü. Evren, insanların zaman içinde seyahat etmesini mümkün kılıyor olamazdı kesinlikle.

## Geçmişe Dönüş

Bazı bakımlardan Einstein'ın hiç endişelenmesi gerekmiyordu. Gödel'in yaptığı çalışma sağlandı, ama yararsızdı. Galaksilerin hareketi bize, evrenimizin dönmediğini söylüyordu; bu yüzden de doğal olarak zaman içinde ilmekler yoktu. Yararlı bir zaman makinesi yaparsak bu ilmekleri kendi başımıza yaratmamız gerekiyordu.

Bunu nasıl başaracağımıza dair fikirlerimiz vardır. İlkini 1976'da bir zaman makinesi tasarlayan, New Orleans Tulane Üniversitesi'nden Frank Tipler ileri sürmüştür. Tipler son derece ağır ve sonsuz derecede uzun, hızla dönen bir silindirin evrenin dokusunu zaman içinde bir ilmek yaratabilecek şekilde bükeceğini göstermişti.

Fakat yine de bir zaman makinesi olarak bunun pek geleceği yoktur. Şurası kesin ki bu Wells'in tasavvur ettiği türden bir şey değildir: Wells'in Zaman Gezginini evine sığan bir zaman makinesi inşa etmişti. Sonsuz uzunlukta silindirlerin ne kadar geniş olursa olsun bir fabrikaya sığması pek mümkün değildir. Fakat başka bir seçenek daha vardır: Doğanın çoktan inşa etmiş olduğu zaman makinelerini kullanmak. Princeton Üniversitesi'nde görev yapan astrofizikçi J. Richard Gott 1991'de evrenin, bir zaman makinesinin hammaddesi gibi davranabilecek maddeyi içerebileceğini göstermişti. Bu madde, süper yoğun bir “kozmetik sicim” türüdür.

Evrenin nasıl oluşmuş olabileceğiyle ilgili bazı kuramlara göre, kozmik sicimler yaratılışın ilk anlarında oluşmuş olsa gerektir; bugün hâlâ evrenin çevresinde asılı olabilirler. Esasen uzaydaki kusurlardır, evren hızlı bir değişim sürecinden geçerken oluşmuş yaralı bir dokuya benzer şeylerdir. Kozmik bir sicim korkutucu bir hayvandır: Çapı bir atom çekirdeğinin genişliğinden az olsa da bütün evren boyunca uzanır. Hiç şaşırtıcı değil, bunlardan birini bir zaman makinesine çevirmek korkakların harcı değildir. Başlangıç itibarıyla bunlardan bir çifte ihtiyacınız vardır.

Sicimlerin her birinin aşırı bir yoğunluğa sahip olması uzay-zamanda öyle bir bükülme yaratacaktır ki bu, sicimleri yan yana getirip sonra hızla birbirinde ayırarak zamanda bir ilmek yaratabileceğiniz anlamına gelir. Bu kozmik sicimlerin çevresinde bir ilmeğin içinde seyahat ettiğinizde, başladığınız yere her döndüğünüzde kendinizi geçmişinizden bir olayın içinde bulursunuz. Gott bunu Escher'in çizimlerine benzetmiştir. Tıpkı Escher'in perspektifi bükerek geometrik olarak imkânsız efektler yaratmasında olduğu gibi, sicimler çevrelerindeki uzay-zamanın geometrisini o kadar fazla bükerek ki uzay-zaman aşına olduğumuz kurallara uygun olmaktan çıkar.

Gott, aynı efektin süper enerjik parçacıkları birbirine ateşleyerek de elde edilebileceğine işaret etmiştir; öyle ki birbirlerini ancak küçük bir mesafe farkıyla ıskalayacaklardır. Bu parçacıkların

enerjisi, her bir parçacığın etrafındaki uzay-zamanı bükerek ve bu bükülmüş uzay-zaman karşı karşıya geldiğinde zaman içinde bir ilmek oluşturabilir. Fakat bu içine girip dolaşabileceğiniz bir ilmek değildir. Bundan daha da ilginç –ve uygulanabilir olanı– Amerikalı astrofizikçi Kip Thorne’un çizmiş olduğu kurt deliği zaman makinesidir.

## Kurt Deliğinden İçeri

Bilim-kurgunun köşe taşlarından biri olduğu için, kurt deliklerini kesinlikle duymuş olmalısınız. Fakat bu tümüyle haklı çıkarılabilir: Sayılamayacak kadar uzun saatler süren araştırmalara konu olmuş olsalar da zamanda seyahatin bu yönteminin ilham kaynağı bir bilim-kurgu hikâyesi olmuştur. Kozmolog Carl Sagan *Contact* adlı romanını kaleme alırken, kahramanı Vega’yı 26 ışık yılı uzaktaki bir yıldızda bir anda göndermenin makul bir yolunu bulmak istemişti. Sagan Thorne’un fikrini sordu, Thorne da oturup bir çözüm bulmaya çalıştı. Cevabı, Einstein’ın Nathan Rosen’la birlikte 1935’te kaleme aldığı bir makalede buldu.

Einstein ve Rosen kara deliklerle, kendi kütleçekimleri altında çöken yıldızların kalıntılarıyla ilişkilendirilen bir problemi çözmüşlerdi. Bir kara deliğin merkezinde bir “tekillik”, uzay ve zamanda bir kırılma bulunur. Einstein ile Rosen bu merkezi çekirdeğin, uzay-zamanın başka bir bölgesine bağlandığını tasavvur etmişlerdi. Bu Einstein-Rosen köprüsüdür. Thorne çok geçmeden Sagan’ın ihtiyaç duyduğu cevabın bu olabileceğini fark etti.

Bir tepenin öte yakasına doğru ray döşemeye çalışan bir demiryolu mühendisini düşünün. Rayları tepenin bir tarafında yukarı, diğer tarafında aşağı doğru döşeyebilirsiniz. Rayları tepenin etrafından dolandırabilirsiniz. Fakat tepenin içinden geçen bir tünel varsa, bu daha kısa, daha doğrudan bir yol olacaktır. Zaman ve uzay görelilik içinde bu kadar yakından ilişkili olduğu için (fizikçiler ikisini bir araya getirir ve evrenden “uzay-zaman” olarak bahsederler) demiryolu mühendislerinin uzay için yaptığını, zaman için yapabilirsiniz. Bunun ardından, uzay-zaman içindeki bu kestirme yolların geometrisinin analizi, zamanda seyahat için işe yarayabileceklerini göstermiştir.

## Zaman İçinde Kestirme Yol

Uzay-zamanda bir noktayı belirtmek için, bir pozisyon ve zaman verirsiniz: Öğle vakti St. Paul Katedrali gibi. Bu, kurt deliğinin bir ağzıysa, diğer ağzı St. Paul Katedrali dün öğle vakti olabilir. Kurt ağzından bugün içeri girin, uzayda aynı noktaya yürümüş olacaksınız; ama 24 saat öncesine çıkacaksınız. Kurt deliğinin girişinden çıkışına doğru hareket etmeniz sonlu bir zaman harcamanıza neden olabilir, fakat bunun bir sorun olması gerekmez. Kuram çerçevesinde, bir ağızdan içeri atlayıp geçmişte belirmeniz ve etrafta dolanıp kendinizi kurt deliğinden içeri atlarken izlemeniz mümkündür.

Elbette ki işler bu kadar basit değildir; alt edilmesi gereken birkaç engel vardır. Bir kere, bir kurt deliğini nerede bulacaksınız? Kurt delikleri Einstein’ın denklemlerinin çözümü olarak var olsalar da doğal olarak var olduklarına dair bir kanıt yoktur. Hızla hareket eden atomaltı parçacıkları çarpıştırarak bir kurt deliği yaratabiliriz; evet, böyle uzak bir ihtimal vardır. Çeşitli kuramsal fikirler, kurt deliklerinin son derece yoğunlaşmış enerjisinin uzay-zamanın dokusunu, bu dokuda bir delik açmaya yetecek kadar bükebileceğine işaret etmektedir. Fakat o zaman bile kontrol bizde olmayacaktır.

Uzay-zaman lastik gibidir: Gerilmeyi sevmez. Uzay-zamanın yırtılıp bir kurt deliği yaratması, kurt deliğinin ağzını çekip kapatmaya yönelik bir enerji dengesizliğine yol açar. Fizikçilerin hatırlattığı

üzere, kurt deliğinin ağzını açık tutmanın tek yolu, onu doğal olarak kapanmaya karşı koyan “negatif enerjiyle” doldurmaktır. Negatif enerji taşıyan bir maddenin var olması mümkün olsa da bunun ne olabileceğine ya da böyle bir maddeden biraz bulmak için nereye bakabileceğimize dair hiçbir fikrimiz yoktur. Kurt deliğinin ağzını açık tuttuk diyelim, deliğin uzay-zamanın başka bir bölgesine köprü kuracağını kim söyleyecektir? Delik böyle bir köprü kuruyor olsa bile, gitmek istediğimiz yer burası mı olacaktır?

Öyle görünüyor ki bu probleme getirilebilecek en iyi çözüm (bir kurt deliğinin ve negatif enerjiye bağlı fantastik teknolojik becerilerin varlığı dikkate alınır) kurt deliğinin bir ucunu bir nötron yıldızına bağlamayı gerektirmektedir. Bir nötron yıldızı inanılmaz derecede yoğun bir nesnedir. Genişliği yalnızca yaklaşık 12 kilometre olsa da bir nötron yıldızı güneşten daha ağırdır. Dünya'nın kütleçekim alanında bir çay kaşığı nötron yıldızı bir milyar ton çekecektir.

Kütlenin bu biçimde yoğunlaşması, bir nötron yıldızının çevresindeki uzay-zaman açısından ciddi sonuçlara yol açar: kütle yoğunlaşması uzay zamanı ciddi biçimde büker. Bunun sonuçlarından biri bir nötron yıldızının yakınlarında zamanın yavaşlamasıdır. Bir nötron yıldızının yakınında zaman Dünya'da aktığının yüzde 30'u hızla akar. Bir kurt deliğinin bir ucunu bir nötron yıldızına bağlayın, diğer ucun boş uzayda bulunmasına izin verin; kurt deliğinin iki ağzı arasında bir zaman değişikliği gerçekleşecektir. Kuram çerçevesinde bu, diğer uçta belirmenizin ardından kurt deliğine girebileceğiniz anlamına gelir.

### Zamanın Akışını Korumak

Peki, bunların hiçbiri kolay değil. Ama neden? Bunun sebebi bir zaman makinesi yaratmanın, bazı temel fizik kanunlarını ihlal etmesi değildir. Bundan daha iyi bir iddia, zamanda seyahat “aleyhine faaliyet gösteren” kurallara göre işlediğimiz olabilir. Belki de Gödel ve Einstein'ın ileri sürdüğü üzere birinin geçmişine seyahat etmesi ihtimalinin rahatsız edici sonuçları, bizi, evrendeki bir şeyin bunu imkânsız kıldığı gerçeğine uyandırmaktadır.

Hollywood'daki bütün senaryo yazarlarının bildiği üzere, zaman içinde geçmişe seyahat bazı harika ve tuhaf ikilemleri beraberinde getirir. Bilinen en klasik örnek “büyükbaba paradoksudur.” Ya zamanda geriye gidip de büyükbabanızı küçük bir çocukken öldürürseniz? Bu ebeveynlerinizden birinin hiç doğmamış olması anlamına gelecektir; peki sizin varlığınızı da ortadan kaldıracak mıdır? Gerçeklikten silinip gidecek misiniz?

Bunun üç olası çözümü vardır. İlki ve zamanda seyahat üzerine çok düşünen fizikçilerin en akla yatkın bulduğu, “kronoloji koruma bağlantısı” olarak bilinir. 1992'de Stephen Hawking'in geliştirdiği bu çözüme göre, neden sonuç ilişkisi tehdit edilecek olursa doğal dünyanın henüz bilinmeyen bir vechesi devreye girecektir. Temelde fizik kanunları geçmişi korumak üzere işlemektedir. Şık bir fikir.

Fizikçilerin baktığı her yerde, öyle görünüyor ki kesinlikle bir zaman makinesi yaratma girişimlerini baltalayan beklenmedik etkenler vardır. Örneğin kurt delikleri için negatif enerjiye ihtiyaç duyulur. Öyle görünüyor ki Gott'un kozmik sicim zaman makinesi, evrenin, sizin yeterince küçük bir yerde yeterince kütle toplamanıza karşı işlemesinin sebep olduğu geri tepmeden mustarıptir. Zaman makinelerinin, henüz doğru düzgün anlaşılmayan, ama bir gün zamanda seyahat değerlendirmelerinde dikkate alınacak olan bir fiziği meseleye eklemeye çalışan kuantum versiyonlarının da kendilerine özgü sorunları olduğu yönünde işaretler vardır.



Fakat Hawking'in kronoloji koruma bağlantısı, hâlâ yalnızca bir fikirdir; fizikçileri zamanda seyahatle ilgili araştırmalardan vazgeçmeye zorlamaksızın büyükbaba paradoksuyla ilgili tuhaf sorulardan kaçınmanın bir yoludur. Büyükbabanızı korumakla ilgili ikinci olasılık, tuhaf sorunların her zaman benzer tuhaf çözümler bulabildiği kuantum dünyasından gelir. Bu vakada fikir gayet basittir: Olup biten her şey başka bir evrenle hiçbir bağlantısı olmayan yeni bir evren yaratır.

Hugh Everett'in 1950'lerde hayal ettiği bu fikir, "çok dünyalı hipotez" olarak bilinir (bkz. *Ben Eşsiz miyim?*) ve kuantum kuramında uzun zamandır varlığını sürdüren bir problemi çözmek için kullanılır. Bu hipotezin zamanda seyahatin paradokslarına uygulanması da aynı derecede basittir ve aynı derecede rahatsızlık vericidir. Zamanda geriye gidip büyükbabanız olacağını düşündüğünüz çocuğu öldürürseniz farklı bir paralel dünyaya girmiş olursunuz; tek varoluşunuzun zaman gezgini olduğu, torundan tümüyle ayrı bir varoluş olduğu bir dünyadır bu. Varoluşu sorgulanabilecek "başka bir siz" yoktur. Paradoks çözülmüştür.

Fakat yine de pek tatmin edici bir biçimde çözülmemiştir. Üçüncü fikirse, dış dünya üzerinde sahip olduğumuzu düşündüğümüz kontrole sahip olmamamızdır. Paradoksa bu yaklaşım, serbest iradeniz olmadığını, istesenez bile büyükbabanızı öldüremeyeceğinizi söyler. Burası karmaşık bir alandır, fizikçilerin cevaplamak için gerekli donanımına sahip olmadığı felsefi sorunlar doğurur. Büyükbaba paradoksunun nasıl işlediğini gerçekten bilmek istiyorlarsa işe koyulup bir zaman makinesi icat etmeleri gerekir.

## Geleceğe Seyahat

Bu fikirlerin hepsi de zamanda seyahat edemeyeceğimiz sonucuna çıkıyormuş gibi görünüyor. Fakat hiçbir şey hakikatten bu kadar uzak olamaz. Zamanda seyahatin mümkün olabileceğini biliyoruz; çünkü bunu zaten gerçekleştirdik.

Roketlerle aya gidip gelen Apollo astronotları dünyanın ilk zaman gezginleriydi. Dünyanın en büyük zaman gezgini, Dünya'nın etrafını saatte 27.000 km hızla 800 günde dolaşan Rus kozmonot Sergei Krikalev'dir. Krikalev şimdi, saniyenin 48'de biri kadar gelecektedir.

Zamanda seyahat etmek için kozmonot olmanız bile gerekmez. Son derece hassas atomik saatlerin Dünya'nın etrafında uçurulduğu deneyler, saatlerin geleceğe doğru gittiğini göstermiştir. Bir uçakla Dünya'nın etrafında yapacağınız seyahat size saniyenin birkaç milyarda biri kadar bir şey kazandırabilir. Peki neden? Bu sorunun cevabı Einstein'ın ilk görelilik kuramında, özel görelilik kuramında yatmaktadır.

1905'te yayınlanan özel görelilik kuramı (bkz. *Zaman Nedir?*), herhangi biri ya da bir nesne açısından zamanın geçişinin göreliliğini, harekete dayandığını söyler. Alpha Centauri'ye giden bir roketle fırlatılırsanız saatiniz Dünya'daki saatlere kıyasla yavaş ilerleyecektir. Roketiniz ışık hızına yakın bir hızda seyahat ederse ölçülen zamandaki bu farklılık ciddi boyutlarda olacaktır. Uzun süren ama hızlı bir geri dönüş seyahatinde dünyaya birkaç yıl daha yaşlı dönmeniz, fakat geride bıraktığınız herkesi çok daha yaşlanmış bulmanız olasıdır.

Bu senaryoya göre bir ikiziniz varsa, artık sizinle aynı yaşta olmayacaktır. İkiz paradoksu olarak bilinen bu tuhaf sonuç, fizik kanunları tarafından tümüyle mümkün kılınmaktadır. Gerçekten dikkat çekici olan şey, zamanın akışındaki bu farklılığın, seyahat eden ikizin Dünya'nın geleceğine seyahat etmiş olması anlamına gelmesidir. Uzaydaki seyahatlerinizden döndüğünüzde, Dünya'da, sizin

açınızdan geçen zamandan çok daha fazla zaman geçtiğini görürsünüz. Dolayısıyla gerçekten de zaman içinde seyahat edebileceğimiz ve bazı insanların bunu zaten yapmış oldukları sonucuna varabiliriz. Gelgelelim geleceğe yapılan bu seyahat nispeten kolaydır. Asıl zor olduğu anlaşılan şey geçmişe seyahattir. Bu güçlükleri aşabilecek miyiz? Bunu ancak zaman söyleyecek.

# DÜNYA'NIN MANYETİK KALKANI

# TEKLIYOR MU?

*Yer değiştiren kutuplar, gezegenin çatırdamakta olan çekirdeği, Dünya üzerindeki hayata tehdit*

*Mars'ın uğradığı akıbetten kaçınabilir miyiz? Kızıl Gezegen'in manyetik kalkanı tekledi güneş de gezegenin atmosferinden bir patlamaya yol açtı; gezegen kurak, çorak bir arazi haline geldi. Dünya da aynı yöne doğru mu gidiyor?*

Dünya'nın bilim insanlarınca manyetosfer olarak bilinen manyetik alanı, gezegende hayat başladığından bu yana biyosferin ayrılmaz bir parçası olmuştur. Bakteriler, bitkiler ve hayvanların, manyetik alanın yöneliminden etkilendiği bilinir. Manyetik alan olmazsa birçok kuş türü kelimenin tam anlamıyla kaybolurdu; manyetik alan kuşların kuzey yarıkürede sert geçen kışlardan kaçmasını mümkün kılan göç stratejilerinin köşetaşıdır.

İnsanlar manyetizmayı birçok hayvanla aynı biçimde bilinçli olarak hissedemezler; fakat yine de Dünya'nın manyetik alanından muazzam yararlar sağlarız. Öyle görünüyor ki manyetosfer, atmosferimizi yerinde tutmakla kalmaz; bizi güneşin yoğun ışınımından ve elektrik fırtınalarından da korur, aksi takdirde elektrikli aletlerimiz, uydularımız ve havayolu iletişimimiz felakete uğradı. Dünya'nın manyetik alanı tekliyorsa, bunu ne kadar erken öğrenirsek o kadar iyidir.

## Yer Değiştiren Kutuplar

Dünya'nın manyetik alanını açıkça kullanan ilk insan medeniyetinin hangisi olduğunu asla bilemeyiz. Kısa süre öncesine kadar, manyetik alanı ilk kullanan medeniyetin Çinliler olduğu düşünülüyordu; Çinliler binalarını feng shui ilkelerine uygun hale getirebilmek için “güneyi işaret eden balık” gibi manyetik mineraller kullanmışlardı. Gelgelelim bu uygulamayla ilgili güvenilir kanıtlar, uygulamanın başlangıcının MÖ 400'den öteye gidemediğini göstermiştir; bu da en eski manyetik aygıtın Olmeclerin yurdunda, Meksika'nın Veracruz kentinde bulunan mineral manyetit olduğu anlamına gelmektedir.

Yeni Dünya'nın ilk medeniyeti olduğu düşünülen Olmecler, MÖ 1000 ile 1400 yılları arasında varlık göstermişlerdir. 1970'lerin başında çıkarılan bu manyetit parçası, yere bırakıldığında çok az sürtünmeye yol açacak bir çubuk haline getirilmiş; bir ucunun ortasına da bir oyuk açılmıştır. Neresinden bakılırsa bakılsın bir pusula iğnesine benzemektedir.

Fizikçi John Carlson, Olmec manyetit keşfini haber verdiğinde, Olmec halkının binalarını 8 derece kuzeybatı hizasında inşa ettiğine dikkat çekmişti. Carlson bunun “ilginç” olduğunu söylemişti. Fakat sonraki yüzyıllarda toplanan başka kanıtlarla birlikte alındığında, bu ilginç olmaktan öteye giden bir şeydi; Dünya'nın manyetik alanının sabit olmaktan uzak olduğunu kanıtıydı. Dünya'nın manyetik alanının şu sıralarda tekliyor olabileceğini düşünmemizin sebebi de budur.

## Kuzeyi Göstermeyen Bir Pusula

Dünya'nın manyetik alanıyla ilgili modern ölçümler ancak iki yüzyıl önce başlamıştır; ama elimizde, alanların yer değiştirdiğine dair çok daha eski kanıtlar bulunmaktadır. Örneğin 12. yüzyılda inşa edilmiş yüzü aşkın Danimarka kilisesinin yönelimi incelendiğinde bugünkü manyetik doğu-batı çizgisinden 10 derece saptıkları görülür. Olmeclerin binalarında olduğu gibi, bu kiliseler inşa

edildiğinde, pusulalar bugün olduğundan farklı bir yönü işaret ediyorlardı.

Dünya'nın manyetik alanına dair daha güvenilir bir değerlendirme 19. yüzyılın başında, Alexander von Humboldt'un Güney Atlantik'te seyahat ederken alan ölçümleri yapmasıyla başlamıştır. Von Humboldt manyetik alanın yoğunluğunun bu bölgede azaldığını keşfetmişti. 1804'te bulgularını Paris Enstitüsü'ne iletti; fakat kısa süre sonra karşı iddialar başgösterdi, mesele bir kargaşaya yol açtı. Nihayetinde von Humboldt meseleyi Alman matematikçi Carl Friedrich Gauss'a götürdü ve manyetik gözlemlerin bir atlasını hazırlamak için onun yardımını istedi. Bilimin farklı alanlarında önemli keşifler yapmış çok yetenekli bir insan olan Gauss zaten o sıralarda toprak manyetizmasını araştırıyordu ve yardım etmeye de dünden razıydı. 1840'a gelindiğinde manyetizma hakkında üç önemli makale kaleme almıştı (bunlardan biri Dünya'nın manyetik alanını tanımlamanın bir yolu üzerineydi) ve Dünya'nın manyetik alanı hariç bütün manyetik alanları dışarıda bırakacak seyyar bir manyetik gözlemevi inşa etmişti.

Gauss'un jeomanyetik atlası 1836'da yayınlandı. Dünya'nın manyetik alanıyla ilgili ölçümler, Gauss'un ilk çabalarından bu yana devam etmektedir; bugün elimizde 150 yıllık bir kayıt bulunuyor. Kilit önemdeki bulgulardan biri, manyetik Kuzey Kutbu'nun hareket etmekte olduğudur. Araştırmacılar bu duruma ilk kez 1831'de dikkat çekmiş; mesele sonra bir daha 1904'te gündeme getirilmiştir. Aradan geçen süre zarfında manyetik Kuzey Kutbu 50 km hareket etmiştir. 20. yüzyılda, manyetik kutup kuzeye doğru yılda yaklaşık 10 km hızla hareket etmiştir; ama bu hareketliliğin hızlandığı görülmektedir. Manyetik Kuzey Kutbu şimdilik yılda 40 km hareket etmektedir.

---

### HAYVAN MANYETİZMASI

*Bazı hayvanların manyetik alanları hissedebildiğine hiç şüphe yoktur. Hayvan krallığındaki göçlerin birçoğu hayvanların Dünya'nın manyetik alanına göre yol almalarını gerektirir. Sini kaplumbağalarının (Caretta caretta) yaklaşık 13.000 km'lik göçü, kral kelebeklerinin Amerika'daki büyük yolculuğu, balık kartallarının kıtaları aşması, bunların hepsi de manyetik alanların hissedilmesini gerektirir. Onların bunu nasıl yaptıkları tam olarak kesinlik kazanmamıştır, ama ipuçlarını topluyoruz. Birçok hayvan türünün dokuları –kurbağalar, arılar, sarı yüzgeçli somon ve bakteriler örneğin– bir dış manyetik alanla uyum sağlayan manyetik minerali içerir.*

*Dolichonyx oryzivorus (bobolink) gibi göçmen kuşların beyin hücrelerinde manyetit vardır. Kuşların "manyetik görüşe" de sahip olduğu gösterilmiştir. Göçmen bahçe ötleğenin görsel nöronlarında, zayıf manyetik alanlara duyarlı olduğu görülen kriptokrom proteinleri bulunmaktadır. Farklı yönelimlere maruz kaldıklarında bu proteinler farklı kimyasal kombinasyonlar üretir. Öyle görünüyor ki akşam saatlerindeki "mavi" ışık bu proteinlerin harekete geçip bu kimyasalları üretmesini sağlamakta özellikle maharetlidir; günün bu saatlerinde kuşlar yönelimlerini ayarlıyor olur.*

*Manyetik alanları hissedenler yalnızca göçmen hayvanlar değildir; ineklerin de manyetik olarak duyarlı olduğu düşünülmektedir. Otlamakta olan süt ve besi sığırlarının altı farklı kıtadan alınmış uydu görüntüleri kuzey-güney hattında 5 derecelik bir bölgeye yönelerek durduklarını göstermektedir. Bu verilerle ilgili bazı soru işaretleri vardır; bu durumun o sırada baskın*

*rüzgârlardan kaynaklanabileceği de düşünülmektedir. Yine de bu ilginç bir gözlemdir ve veriler coğrafi kuzey ile manyetik kuzey arasındaki çeşitli değişimlerle de bağlantılı görünmektedir. Güçlü bir manyetik alanın bulunduğu Oregon'da, inekler coğrafi kuzeye 17,5 derecelik bir açıyla, manyetik kuzeye doğru durmaktadır. Geyik sürülerinin de aynı şeyi yaptığı gözlenmiştir. Bu kadar çok hayvan bu hisse sahipse, insanlar açısından durum nedir?*

*Manyetik alanları bilinçli olarak hissettiğimize dair kanıtlar yoktur; fakat insanların sağlık durumlarını manyetik alanlarla ilişkilendiren araştırmalar vardır. Rusya, Avustralya ve Güney Afrika'da yapılan araştırmalarda jeomanyetik faaliyetler ile intihar ve depresyon oranlarının artması arasında bağlantılar olduğu görülmüştür. Bunun kökenindeki sebep gizemini korumaktadır; fakat araştırmacılar jeomanyetik değişimlerin melatonin üretimini ve 24 saatlik biyokimyasal, psikolojik ve davranışsal ritimleri etkiliyor olabileceğini ileri sürmüşlerdir; bunların her ikisi de ruh hali bozukluklarıyla ilişkilendirilmiştir.*

---

Tek değişiklik bu değildir: Kayıtlar, orta enlemlerde pusula iğnelerinin her on yılda bir 1 derece kaydığını göstermektedir. Güney Atlantik'te de gerçekten bir sorun vardır: Uydu ölçümleri Atlantik Okyanusu'nun altında, Güney Afrika'nın batısında manyetik alan hatlarının birleşiyormuş gibi görüldüğünü, manyetik bir kutup oluşturduğunu göstermektedir. Bu "Güney Atlantik anormalliği" kendi tersine çevrilmiş manyetik alan hatlarını göstermektedir; bu hatlar artık Güney Amerika'nın büyük bölümünü kaplamakta ve Dünya'nın manyetik alanıyla ilgili genel görüşümüzü bulanıklaştırmaktadır. Sonra bir de manyetik alanın genel olarak zayıflaması meselesi vardır. Bir bütün olarak ele alındığında, Dünya'nın manyetik alanı Gauss'un ölçümleri başladığından bu yana gücünün yüzde 10'unu kaybetmiştir. Bunun gelecek açısından ne anlama geldiğini anlamak için bilim insanları manyetik alanın kökenlerini ortaya çıkarmaya çalışmışlardır.

## Çalkalanan Küreler

Dünya'nın bir Kuzey bir de Güney Kutbu olduğu gerçeği, bizi, manyetik alanın gezegenin derinliklerine gömülmüş olan bir mıknatıs çubuğu gibi bir şeyden doğduğunu düşünmeye itebilir. Maalesef işler bu kadar basit değildir. Dünya'nın manyetik alanı, gezegenin kalbinin derinliklerine gömülmüş olan bir erimiş demir ve nikel küresinden kaynaklanmaktadır. Dünya'nın iç çekirdeği 1250 kilometre çapında sert bir demir toptur. Bu top son derece sıcaktır, birkaç bin derece kadar; gezegenin geri kalanının ağırlığından ötürü üstüne binen basınç, bu topun erimesini engellemektedir.

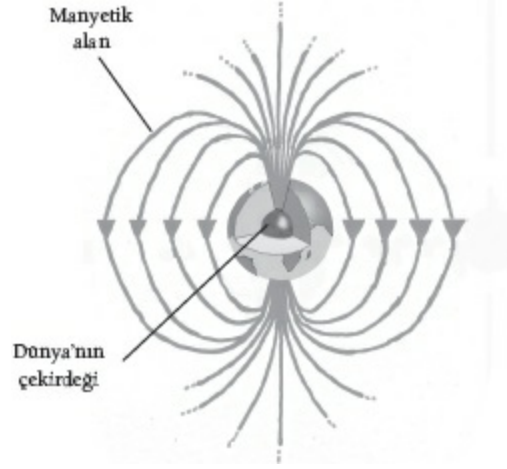
İç çekirdeğin çevresinde manyetik alanı yaratan erimiş metal vardır. İç çekirdekten çıkan ısı bu sıvının içinde dolanır ve sıcak sıvı metali yer kabuğunun altındaki tabakaya, mantoya doğru iten konveksiyon akımları yaratır. Sıcak sıvı metal yükseldikçe soğur ve sonra geri iner. Bu metalik iletkenin hareketi elektrik yaratır, elektriğe her zaman bir manyetik alan eşlik eder. Bu bileşim Dünya'nın manyetik alanını ayakta tutan, kendi kendisini devam ettiren bir "jeodinamo" yaratır.

Bu jeodinamo son derece karmaşık bir manyetik alana yol açar. Dünya kendi eksenini etrafında dönerken manyetik alan hatları birbirine girer, sıvı dış çekirdek içinde yeni akımlar oluşur. Bu durum yeni manyetik alan hatlarının oluşumunu beraberinde getirir, kimi zaman yeni bir manyetik alan çekirdeğin içinde büyüyebilir. Genellikle bu alan halihazırda mevcut alana eklenecektir; fakat yönelimi baskın olan alana göre değiştirilirse Dünya'nın genel manyetizmasından sapabilir.

Güney Atlantik anormalliğiyle ilgili olarak yaşanmakta olan bu olabilir; Dünya'nın manyetik alanının görünürdeki zayıflamasının sebebi de bu olabilir. Gelgelelim araştırmacılar emin olamamaktadırlar; çünkü böyle muazzam bir jeodinamonun yarattığı manyetik alanın dinamikleri, sırlarını matematiksel modellere teslim etmeyecek kadar karmaşıktır. Hayal kırıklığına uğramış jeodinamo araştırmacıları matematiksel modellerini, gerçek dünyaya uygun jeodinamolar yaratarak tamamlamaktadırlar. Genelde bu, son derece tehlikeli cihazların kullanılmasını gerektirir. Laboratuvarınızda erimiş, dönen metal istiyorsanız birkaç bin derecede eriyen bir metal kullanamazsınız. En uygun aday 100 derecenin biraz altında eriyen sodyumdur.

Bunu söylemişken, sodyumun da kendine özgü tehlikeleri olduğunu belirtelim. Örneğin su ve havayla temas etmesi halinde şiddetli bir patlamayla yanabilir. Yine de araştırmacılar, ayaklarımızın altında olup bitenleri simüle etmek için erimiş sodyum toplarını döndürmeyi başarmışlardır. Varılan sonuçlar etkileyici olmuştur: Kendi kendisini devam ettiren manyetik alanlar gerçekten de oluşur ve Dünya'nın jeodinamosunun gösterdiği karmaşık davranış biçimini gösterirler. Hatta zaman zaman Kuzey ve Güney kutupları yer değiştirdiğinde manyetik alanlar "tersine dönmeler" gösterir. Bu süreç içinde manyetik alan kaybolur ve çok daha karmaşık bir hal alır; sonra yine büyür, ama kutupsallığı tersine dönmüştür.

Bir süre boyunca, bir tersine dönme sırasında açıkça tanımlanmış bir manyetik alan olmaz. Peki, böyle bir şey Dünya'nın manyetik alanına olursa feci sonuçlara yol açması olası mıdır? Maalesef, bu simülasyonların bile Dünya'nın manyetik alanıyla ilgili tahminler yürütmemizi sağlayacak kadar doğru olduğu görülmemiştir. Öyle görünüyor ki yapabileceğimiz en iyi şey gezegenin kaya kabuğunun içinde donmuş kanıtlara bakmak ve bulgularımızı çıkarmaya çalışmaktır.



*DÜNYANIN MANYETİK ALANI*

## NEREDEN İLERİ GELİYOR?

### Kayalara Yazılmış

Okyanusların ortasındaki yamaçlarda tektonik plakalar arasındaki açıklıklarda, volkanlardan akan erimiş kayanın içinde manyetik kristaller –küçük manyetit zerrecikleri örneğin– serbestçe hareket ederler; kendilerini Dünya'nın manyetik alanının yönüne yönelteceklerdir. Bu kaya soğuduğunda bu yönelim donar; manyetik alanı, kendi döneminin manyetik kuzeyini gösteren bir kaya oluşur. Araştırmacılar, kayalara tarih vererek ve manyetik yönelimlerini not alarak “kuzey” yönünün 1000 yıl içinde nasıl değişmiş olduğunun bir tablosunu çizebilirler. Manyetik alanda bir aksaklık olduğuna dair ilk kanıt da böyle elde etmişizdir. 1904'te Güney Fransa'da Massif Central Dağları'nda yapılan jeomanyetik araştırmalar kayalardaki manyetik kristallerin yöneliminin bugün olması gerekene kıyasla ciddi bir değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştu. 1920'lerde dünyanın her yerinde benzer gözlemler yapılıyordu, paleomanyetizma alanı böylece doğdu.

Elimizde artık geçmiş 20 milyon yıl içinde, Dünya'nın manyetik alanının 60 kereden fazla çöküp tersine döndüğünü gösteren kanıtlar bulunmaktadır. Bu tersine dönmeler yaklaşık her 500.000 yılda bir meydana gelmiştir, tamamlanmaları da binlerce yılı alabilir. Gelgelelim bu öyle saat gibi tıkr tıkr işleyen bir fenomen değildir. Kimi zaman, dinozorların devrinde olduğu gibi, milyonlarca yıl boyunca hiçbir değişiklik olmaz. 780.000 yıldır bir tersine dönme görmedik henüz. Peki, bu bir yer değiştirmeye karşı karşıya olduğumuz anlamına mı geliyor? Dünya'nın manyetik alanının telaşlandırıcı derecede hızlı bir biçimde silinip gitmesinin sebebi bu mudur?

---

### GÜNEŞ SALDIRINCA

*Gezegenimizin manyetik alanı, güneş “solar fırtına” diye bilinen şeyi yaratırsa gerçekten de kendi başının çaresine bakmak zorunda kalır. Bu durum sıklıkla güneş lekelerinin belirmesine denk düşer; güneş lekeleri güneşin yüzeyinin altında son derece yoğun manyetik alanlar bulunduğu işaretidir. Parçacıkların kaotik hareketi bu manyetik alanların ortalıkta kıvrıldığı, bükülüp döndüğü, zaman zaman da büyük bir plazma topu fırlatan bir kamçı ucu yarattığı anlamına gelmektedir. Bu kamçının ucu Dünya'ya doğru yöneldiğinde, yoğun manyetizması, bizim manyetik alanımız olan manyetosferle etkileşime girer.*

*İki manyetik alanın birbirine göre yönelimine bağlı olarak iki şey olabilir. Alanlar aynı hizadalarsa birbirlerinin üzerinden kayarlar. En kötü senaryoya göre, özellikle enerjik bir plazma topunun alanı Dünya'nın alanına ters olursa işler daha dramatik bir hal alabilir: Plazma topunun manyetik alanı Dünya'nın manyetik alanında bir delik açar ve parçacıklar buraya dolar. Sonuç yıkıcı olabilir; uydular hasar görür, Dünya'daki prizler için bu bir felaket olur. Örneğin Mart 1989'da böyle bir güneş fırtınası, Kanada'nın Quebec eyaletinin büyük bir bölümünü karartmış, 6 milyon insanı 9 saat boyunca elektriksiz bırakmıştır.*

---

Kaptan Cook'un Güney Denizleri'ne yaptığı yolculuklarda tuttuğu seyir defterleri sayesinde halihazırdaki teklemenin nispeten kısa bir süre önce başladığını biliyoruz. Elimizde denizcilere ait,



1590'lara kadar uzanan seyir defterleri bulunuyor; bu seyir defterlerinde başka birçok şeyin yanı sıra Dünya'nın manyetik alanının yönü ve manyetik alan hatlarının Dünya'ya hangi açıyla girdiği kaydedilmiştir. Yararlı bir denizcilik numarası olmuştur bu; denizcilerin hayatı birçok bakımdan buna dayanıyordu. Gauss 1840'ta manyetik alanın gücünü ölçmeye başladığından beri, bu güçte bir gerileme olduğunu kaydetmiş bulunuyoruz; fakat gemilerin seyir defterlerine göre 1590'daki değerle Gauss'un ölçtüğü manyetik alan gücü arasında bir değişim görünmemektedir.

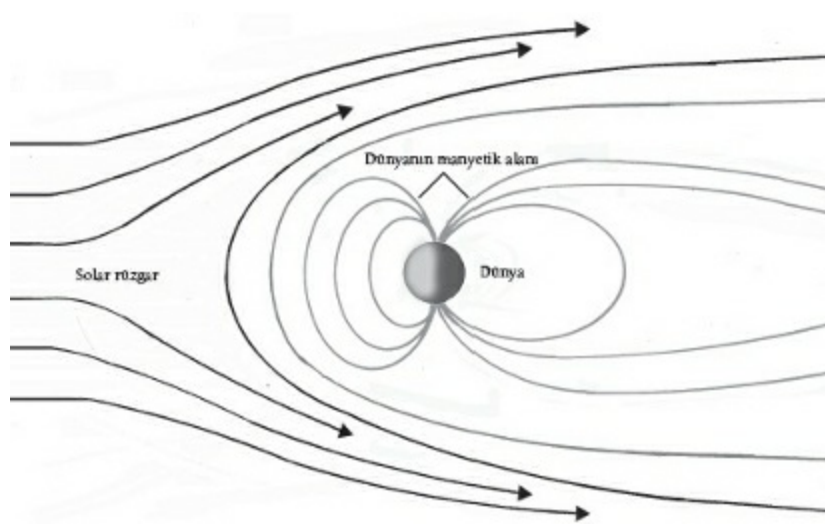
Elbette ki elimizde kesin bir sonuç çıkarmamızı sağlayabilecek yeterince veri bulunmuyor olabilir: Örneğin "Güney Amerika anormalliği" bizi yoldan çıkarıyor olabilir. Peki, bu tuhaf ölçümler ve keşifler kaygılanmamıza mı neden olmalı? Dünya'nın manyetik alanının gezegende hayatın gelişiminde oynadığı –ve oynamayı sürdürdüğü– rol düşünüldüğünde cevabımızın "evet" olması gerekiyor.

## Büyük Koruyucu

Evimiz dediğimiz mavi-yeşil gezegen güneşten yaklaşık 150 milyon km uzaktadır. Bizler, iklim ne çok sıcak ne de çok soğuk olduğu için hayatın belli bölgelerde yaşayabileceği "Şanslı Bölge"de yer alıyoruz. Fakat güneş ısıdan fazlasını üretir. Güneşin yüzeyi çalkantılı bir plazma kitlesidir; elektrik yüklü, yüksek enerjili parçacıklardan oluşan bir gazdır. Güneş sürekli bu parçacıkları kaybetmektedir; parçacıklar "solar rüzgâr" olup uzayda yol almaktadır. Bizim manyetik alanımız Dünya'nın çevresinde bulunan bu parçacıkların birçoğunu yönlendirir. Şurası önemlidir: Bu parçacıkların ancak küçük bir bölümü Dünya'nın yüzeyine ulaşır.

Solar rüzgârdan parçacıklar, yüksek irtifada atmosfere çarptığında, bazıları enerji yüklenmiş bir parçacıklar dizisi meydana getirir. Bu enerji, *aurora borealis*, yani Kuzey Işıkları'nın floresan ışıltısı halinde serbest bırakılır. Gerçi bu parçacıkların bazıları Dünya'nın yüzeyine radyasyon olarak ulaşır. Solar rüzgârdan gelen bu radyasyon bazı bakımlardan pozitif bir kuvvettir. Örneğin Dünya üzerinde hayatın evriminin bir bölümünü yönlendirmekten sorumlu olabilir. Bu radyasyon DNA'ya zarar verebilir; bu durum karadaki hayatın genetiğinde mutasyonlar olmasını zorunlu kılar ve evrim sürecini kolaylaştırır.

Gelgelelim radyasyon aynı zamanda bir tehlikedir. Çok yoğun olursa DNA'daki mutasyonlar kısırılığa, kansere, hatta bazı türlerin nesillerinin tükenmesine yol açabilir. Bu radyasyonun Dünya üzerinden hayatı silmemiş olması büyük ölçüde gezegenimizin manyetik alanının solar rüzgârın büyük bölümünü yolundan çeviriyor olmasından kaynaklanmaktadır. Peki, gezegenimizin manyetik alanı tekliyorsa ne olacak?



*DÜNYANIN MANYETİK KALKANI*

### Gezegenin Manyetik Alanı Tekliyorsa...

Gezegenimizin manyetik alanının en azından 3,2 milyar yıl önce oluştuğunu biliyoruz. Bilinen ilk hayat biçimleri 3,5 milyon yıl önce varlık göstermişti. Görünüşe bakılırsa bunun anlamı açıktır: Hayat bir manyetik alan içinde gelişmiştir ve bir manyetik alana ihtiyaç duyabilir. Ay'ın da Mars'ın da 4 milyar yıl önce manyetik alanları vardı; ama artık ikisinin de yok, ikisi de bildiğimiz kadarıyla hayat barındırmıyorlar.

Fizikçilerin bunun sebebiyle ilgili en iyi tahminine göre, Ay'ın ve Mars'ın boyutlarının küçük olması çabuk soğudukları; bu yüzden sıvı çekirdeğin fokurdar halde tutulması için gerekli ısıyı kaybettikleri anlamına gelir. Dünya'nın daha büyük olması, gezegenin çekirdeğindeki ısının korunmasını sağlar, tektonik plakalar da mantoyu çekirdeğe kıyasla serin tutar. Bu ısı farklılığı konveksiyon akımlarını güçlü tutar, demir bakımından zengin erimiş kayayı karıştırır ve manyetik alanımızı yerinde tutar.

İşte hayatla bir başka bağlantı daha: Dünya'nın manyetik alanı atmosferimizin devam etmesini sağlar. Manyetik alanın solar rüzgârı yolundan saptırması, atmosferin solar rüzgâr parçacıklarına hedef olmadığı anlamına gelir. Mars'ın geride kalan azıcık iyonosferine ait haritalar, Mars kayalarının manyetizmalarını koruduğu noktaların iyonosferin de en kalın olduğu noktalar olduğunu göstermektedir. Öyle görünüyor ki manyetik alanınızı kaybederseniz, atmosfer de onunla birlikte gitmektedir. Bu yüzden Dünya'nın manyetosferi sadece bizi radyasyondan korumakla kalmaz. Aynı zamanda atmosferimizin oluşup gelişmesini mümkün kılar, bize soluyacak oksijen verir. Peki, soluduğumuz havayı mı kaybetmek üzereyiz?

Kesinlikle hayır diyebiliriz. Tersine dönme muhtemelen gerçekleşmektedir; fakat bütün deneylerimiz ve gözlemlerimiz manyetik bir ters dönmenin de en az birkaç bin yıl alacağını göstermektedir. Bu süre zarfında, Dünya'nın manyetik alanı zayıflayacak ve çok çok daha karmaşık bir hal alacak; fakat atmosferimizi yerinde tutacak kadar güçlü olacaktır. Başka açılardan da bir felaket olmayacaktır.

O sıralarda Dünya üzerinde yaşayan insanlar neredeyse kesinlikle çok daha fazla solar radyasyon alma riskiyle karşı karşıya olacaklardır. Fakat bunun gerçekten sorun olup olmayacağını henüz hiç kimse bilmiyor. DNA hasarı yüzünden kitlesel bir tükenme söz konusu olabilir; fakat bu tür takvimler üzerinde etkili olan başka o kadar çok etken vardır ki her şey mümkün olabilir. Son ters dönmede

atalarımızın nesli tükenmemiştir, hem o zamana dek bizler kendi suni radyasyon kalkanımızı yaratacak teknolojiyi geliştirebiliriz. Dünya'nın doğal kalkanı pekâlâ tekliyor olabilir; fakat bu sefer bunun sonuçlarıyla yüz yüze gelmeye hazırız, niyetliyiz ve muktediriz.

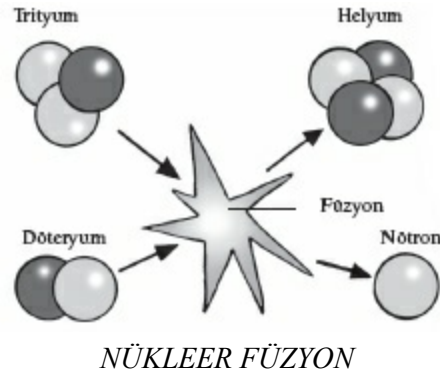
# NEDEN $E=mc^2$ ?

## Evrenin dayandığı denklem

Hadi bir denklem düşünün bakalım. İster sevmiş ister tahammül etmiş olun onca yıllık eğitimin ardından okulda öğrenmiş olduğunuz denklemlerden birinin olsun aklınıza gelmesini beklersiniz. Ama gelmez. Onun yerine, muhtemelen tesadüfen öğrenmiş olduğunuz bu denklem zihninizde beliriverir.

Bu denklem dünyanın en ünlü denklemidir. 1946'da *Time* dergisinin kapağında çıkmıştı, o zamandan beri de kültürümüzün bir parçası haline gelmiş; sanatçılara, müzisyenlere, yazarlara ve yönetmenlere ilham kaynağı olmuştur. Tüm küreyi dolaşmıştır: Japon bir grafik şirketinin logosunda da karşınıza çıkar, İngiltere'nin kırsal kesiminde bir halkla ilişkiler şirketinde de Toronto'da bir kuaför salonunda da. Peki, ama neden? Çünkü bu denklem modern dünyanın sahip olduğu biçimi nasıl almış olduğunu özetler.

Einstein'ın 1905'te yazdığı bu denklem, dünya onun ne yapabileceğini gördüğünde 40 yaşına gelmişti; bu keşif karşısında titredik. *Time* dergisinin kapağında, Pasifik'te ateş altında kalmış bir mercan resifinin üzerinde yükselen mantar bulutunun üzerine yazılmıştı.  $E=mc^2$  atom bombasının ardındaki denklemdir. İkinci Dünya Savaşı'nı bitirmiş, nükleer güç ve nükleer tehdit dönemini başlatmıştır. Bu denklemle birlikte Soğuk Savaş ve ilk kez insan ırkının topyekûn imha edilmesi ihtimali belirmiştir. Soğuk Savaş'ın artık geride kalmış olduğu şu günlerde bile, yanlış insanların küçük bir kütleyle muazzam bir miktarda enerjiye nasıl çevirebileceğini öğrenmesi ihtimali tepemizde bir kılıç gibi asılı durmaktadır.



Gelgelelim sevindirici hakikat  $E=mc^2$ 'nin bir bombadan çok çok daha güçlü olduğudur. Bu denklem hayatımızın, devam eden varoluşumuzun ve belki de geleceğimizin kökenidir. Gerçekliğin temel doğasını betimler, aşına olduğumuz madde kavrayışı yanılmasıyla ne kadar derinlere indiğini gözler önüne serer. Kafanızda bir tek denklem varsa, en azından doğru denklem vardır.

Peki, bu denklem nereden geliyor? Kesinlikle doğruyu söylemek gerekiyorsa, öncelikle, Einstein'dan gelmediğini belirtelim. Einstein kütle ile enerji arasındaki bu ilişkiye dair makalesinde aslında  $E=mc^2$  yazmamıştı.  $L=mv^2$  yazmıştı,  $L$  "canlı" enerjeydi,  $m$  kütle,  $v$  ise yönlü ivmeydi. Bundan yedi yıl sonra 1912'de Einstein rutin olarak enerji için  $E$ 'yi, Latince "hızlılık" anlamına gelen *celeritas* içinse  $c$ 'yi kullanmaya başladı;  $c$  aynı zamanda ışık hızını belirtmek için evrensel olarak kabul gören bir semboldü. Sembol değişikliğini bir kenara bırakalım, Einstein bu denklemi ağaçtan toplamış değildir.  $E=mc^2$ 'nin tohumları ilk kez 17. yüzyılda formüle edilen fizik kanunlarıyla

atılmıştır.

## Evrenin Defterini Dürmek

“Enerji” kelimesinin uzun bir tarihi vardır, fakat ancak kısa bir süre önce bu kelimeyi bugün enerji dediğimizde kastettiğimiz şeyle ilişkili olarak kullanmaya başladık. Örneğin 1842 tarihli *Encyclopedia Britannica*’ya göre enerji “bir şeyin gücü, erdemi ya da verimliliği anlamına gelen Yunanca kökenli kelime” olarak tanımlanmıştır. Aristo’ya uzanan bu Yunan köken, aslında işaret noktamıza daha yakındır. Aristo enerjiyi her şeyin varoluşunun ve işlevinin kaynağı olarak tanımlamıştı. “Energeia”, bir şeyin işini bitirmesini mümkün kılan şeydir, diyordu.

Gelgelelim Isaac Newton’ın zamanında enerji hâlâ yetersiz bir biçimde tanımlanıyordu. Kavram yerinde duruyordu: Hareket eden şeylerin –örneğin bir yaydan fırlatılan bir okun– enerjisi vardı. Fakat ok yere konduğunda, öyle görünüyor ki enerji de kayboluyordu. Sokakta iki kişinin çarpışması, birbirlerini yere sermesi halinde de aynı şey oluyordu. Newton’a göre enerjileri birbirini siliyordu. Çarpışma öncesinde enerji vardı, sonrasında yoktu.

Talihliydik ki –en azından Newton’a göre– Tanrı yerli yerindeydi. Newton, yaşayan ve her an her yerde hazır bulunan, ilahi bir varlık olarak Tanrı’nın evrenin bir yerlerinde iş başında olması gerektiğini düşünüyordu. İlahi kudretin hayati önemdeki rollerinden biri, kozmik enerji rezervlerini her zaman dolu tutmaktı. Tanrı saat gibi tıkır tıkır işleyen evreni kurmak, gezegenlerin göklerde hareket etmesini sağlamak için oradaydı; ama gündelik durumlara, mesela çarpışan köylülere de iniyordu.

<>

“Öyle görünüyor ki Tanrı bunu daimi bir hareket haline

getirebilecek kadar öngörüye sahip değil.”

**GOTTFRIED LEIBNIZ**



Bu Newton'ın büyük rakibi ateist Gottfried Leibniz'in paylaştığı bir görüş değildi. Leibniz Newton'ın bakış açısı hakkında kaleme aldığı iğneleyici bir yorumda Her Şeye Kadir Tanrı'nın arada sırada saatini kurmasının gerektiğini anlamakta zorluk çektiğini yazmıştı. Leibniz 1715'te filozof Samuel Clarke'a yazdığı bir mektupta "Öyle görünüyor ki Tanrı bunu daimi bir hareket haline getirebilecek kadar öngörüye sahip değil," demişti. Newton ile Leibniz, Kalkülüs olarak bilinen, Newton'ın gezegenlerin yörüngesel hareketlerini hesaplamasını sağlayan matematiksel aletin fikir babalığı konusunda zaten birbirlerine rakiplerdi. Enerjiyle ilgili bu çatışma da başka bir matematiksel meseleye indirgenebilirdi.

Newton hareket eden bir cismin enerjisini  $mv$  olarak formüle etmişti, kütlesi ( $m$ ) ile yönlü ivmenin ( $v$ ) ürünüydü yani. Öte yandan Leibniz enerjinin  $mv^2$  olması gerektiğini düşünüyordu, kütle ile cismin ivmesinin karesi. Aradaki farkın ciddi bir etkisi vardı. Newton'ın formülüne göre ters yönlere doğru hareket etmekte olan, birbirine benzer iki cismin enerjileri  $mv$  ve  $-mv$  olur. Bu iki cisim çarpışırsa enerjileri sıfır olur. Leibniz'in ivmenin karesini alması, "ters" yönün hiçbir farka sebep olmayacağı anlamına geliyordu; çünkü negatif bir niceliğin karesi her zaman pozitif bir rakamdır. Leibniz'in formülüne göre, enerji evrenden kaybolmuyordu.

Birkaç yıl boyunca bu soru bir ideoloji meselesi oldu. İngilizce konuşuyor idiyse, Newton'ın çalışmalarını ve fikirlerini seviyor, enerjii  $mv$  olarak düşünüyordunuz. Almanca konuşuyor idiyse Leibniz'in tarafını tutuyor, ivmenin karesini alıyordunuz. Bu şövenizmin üstesinden bir Hollanda-Fransa işbirliğiyle gelindi. Hollandalı bir bilim insanı olan Willem 's Gravesande ağırlıkları çeşitli yüksekliklerden kilin içine attı. Ağırlıkların kilin içinde açtığı deliklerin derinliklerinin enerjiiyle doğru orantılı olduğu, enerjinin de ağırlıkların bırakıldıkları yüksekliklerle ve çarpma hızlarıyla doğru orantılı olduğunu varsaydı. Bu toplamların işe yaramasının tek yolu, enerjinin gerçekten de ivmenin karesiyle doğru orantılı olmasıdır. 's Gravesande bunu kendi başına görememişti. 18. yüzyılın ilk yarısında bulmacanın bütün parçalarını bir araya getiren ve Leibniz'in galip geldiğini iddia eden Emilie du Châtelet adlı Fransız soylusu bir hanım oldu. Hareketten kaynaklanan enerji – canlı yani kinetik enerji– ivmenin karesiyle doğru orantılıydı.  $E$ , ivmenin karesine bağlıydı.

's Gravesande ve özellikle de du Châtelet bir cismin hareketiyle enerjisi arasındaki ilişkiyi aydınlatma konusunda büyük adımlar atmış olsalar da hareket durduğunda enerjiiye ne olduğu konusunda hiçbir fikirleri yoktu. Enerji ortadan kayıp mı oluyordu? Bu sorunun cevabı ancak "korunum" denilen ilkenin keşfinden sonra geldi.

### Korunumla İlgili Çalışmalar

Genel bir korunum ilkesiyle ilgili ilk deneysel ipuçları 18. yüzyılın sonlarında elde edilmişti. Fransız bilim adamı Antoine Lavoisier Paris'te devrimcilerin emriyle giyotine gitmeden birkaç yıl önce, hayret verici bir titizlikle düzenlediği bir dizi deneyle çeşitli maddelerin yanma, küflenme ya da başka doğal değişim süreçleriyle nasıl değiştiğini izlemişti. Bu maddelerin kütlelerinin her zaman bir biçimde korunduğunu görmüştü.

Deneylerin her biri kapalı bir kutunun içinde gerçekleştirilmiş; incelenen madde (odadaki hava veya suyla birlikte) deneyden önce ve sonra tartılmıştı. Deneyin sınırları dahilinde, odadaki



maddenin kütlesi sabit kalmıştı. Bir maddenin fiziksel biçimini çok radikal bir biçimde değiştiren yanma gibi şiddetli bir şey bile, maddelerin varlık bulmalarına bir son veremiyordu. Kütle ölçümleri Lavoisier'ye maddenin hâlâ deney odasında olduğunu; biçiminin değiştiğini, ama yine de orada olduğunu söylüyordu. şeyler evrenden kaybolup gitmiyor, dönüşüp farklı biçimler alıyorlardı.

Bu durum muhtemelen sizi şaşırtmamıştır. Lavoisier'nin yaptığına benzer deneylerin birkaç yüzyıl boyunca yapılması sayesinde, evrenin, bir halden diğerine çevrilebilecek sonlu bir miktar "malzeme" içeren, etkili bir "kapalı" sistem olduğunu anlamış bulunuyoruz. En temel dönüştürülebilir –ama her zaman korunan– nicelik ise enerjidir.

Enerji kavramını kavramaya harcanmış binlerce yılın ardından, bilim insanlarının enerjinin doğada her zaman korunduğunu anlaması koca bir 19. yüzyılı aldı. Geri dönüp bakıldığında bu açıklamanın bu kadar yavaş gelmesi, tuhaf görünüyor. Kinetik enerjinin ısıya çevrilebileceği uzun zamandır biliniyordu. Örneğin havan topu varillerini dolduranlar, bu sürecin büyük miktarda ısı yarattığını biliyorlardı. Gelgelelim ancak termodinamiğin, ısı ve sıcaklığı atomların ve moleküllerin hareketiyle ilişkilendiren bu bilim dalının keşfiyle birlikte (bkz. *Neden Bedava Yemek Diye Bir şey Yoktur?*) bu sürecin nasıl işlediğini keşfetmiş olduk.

## Isı Devrimi

Modern dünyaya  $E=mc^2$  hükmediyorsa, termodinamik de bu dünyayı yaratmıştır. Isının enerjinin bir biçimi olduğu, bu yüzden de iş gerçekleştirebilecek kinetik enerjiye dönüştürülebileceği fikri her anlamda devrimciydi. Su dolu bir küveti yeterince ısıtın, buhara dönmesi –basınç altındayken– bir pistonu hareket ettirebilir. Hareket eden bir piston ülkelerin kaderini değiştirebilir. Mekanik iş ya da ısıdan güç alan motor ve buzdolabı gibi makinelerin keşfi modern teknoloji devrinin temelinde yatan Sanayi Devrimi'ni yaratmıştır.

Isı enerjisinin bu biçimde kinetik enerjiye dönüşmesi, enerjinin nasıl korunduğuna, çeşitli biçimler arasında gezinip evrenden hiç kaybolmadığına yalnızca bir örnektir. 's Gravesande'nin ağırlıklarının yere atılmadan önce "kütleçekimsel potansiyel enerjisi" vardı örneğin. Bu potansiyel enerji, 's Gravesande'nin, ağırlıkları yüksekte atmak için kaldırıırken kullandığı, kaslarında depolanmış enerjiden geliyordu. Kaslarındaki bu enerji de yediği yiyeceklerden geliyordu; bu da yiyeceğinin nihai enerji kaynağından, gümışığından geliyordu. Ağırlıklar çamura çarptığında, nihayetinde gün ışığından almış oldukları potansiyel enerji çamurun içinde kinetik enerjiye (yani harekete), biraz ısı enerjisine (sürtünmeden kaynaklanan) ve ses enerjisine dönüşüyordu. Enerji evrenden kaybolmuyordu.

Benzer şekilde gaz lambası da potansiyel enerjiye sahiptir. Gaz yandığında depolanmış kimyasal potansiyel enerji ısı ve ışık olarak salınır. Isı enerjisi, lambanın çevresindeki havada bulunan moleküllere geçecek ve kinetik enerji olarak tezahür edecektir: Moleküller daha hızlı hareket edecektir.

Fakat şaşırtıcı görünen şey şudur ki enerji kütlenin biçimini alabilir. Kütle kuşkusuz enerjiden çok farklıdır: Kütle sertlikle ilişkilendirilirken, enerji geçici, kısa ömürlüdür. Fakat arada bir bağlantı vardır ve bu bağlantı da James Clerk Maxwell'in elektromanyetizmayla ilgili denklemlerinde bulunmaktadır.

## Maxwell'in Yaklaşımı

Michael Faraday 1830'larda, elektrik ve manyetizmanın nasıl ilişkili olduğunu göstermişti: Elektrik manyetizma üretir, manyetizma da elektrik. Bundan kısa bir süre sonra Maxwell bu sürecin nasıl işlediğini ayrıntılı bir biçimde ortaya koyan bir dizi denklem kaleme aldı. Maxwell'in denklemlerine bakan fizikçilerin birçoğu bunların kütlelerin özünü içerdiğini görmüştü. Örneğin elektromanyetik alanlar içeren bir kutunun, hiçbir elektromanyetik alan içermeyen bir kutudan çok daha ağır çektiği gayet iyi biliniyordu. Fakat soru, bunun ne anlama geldiği idi.

Başlıca görüş şuydu: Elektrik yüklü parçacıkları kendi elektromanyetik alanlarının yakınında hareket ettirmenin zor olması atıl kütleyle –bir cismin harekete direncine– işaret ediyordu. Kendisine sadık kalan Einstein genel geçer görüşü takip etmemişti. Onun yerine cevabı denklemlerin kusurlarından birinde bulmuştu.

Maxwell bir keresinde denklemlerinin elektrik ile manyetizma arasında “karşılıklı bir kucaklaşmayı” betimlediğini söylemişti. Gelgelelim aslında bu üçlü bir kucaklaşmaydı: Elektrik ve manyetizma hareket olmaksızın var olamaz; elektrik yüklü parçacıkların hareketi elektrik ve manyetizma yaratır. Ve burada da derin bir sorun yatar. Deneylerin analizi, hareketin denklemleri geçersiz kılabileceğini göstermiştir. Elektromanyetik radyasyon salan şey gözlemciye göre hareket eder konumdaysa, denklemler, elektromanyetik alan için doğru değerleri tahmin edemez.

Einstein'ı, 1905'te özel göreliliği ortaya koyduğu “Hareket Eden Cisimlerin Elektrodinamiği Üzerine” başlıklı makalesini kaleme almaya iten de buydu. Einstein'ın dehası, uzayda nasıl hareket ediyor olursanız olun fizik kanunlarının tutarlı olduğunda ısrar etmesi olmuştu. Bu ısrarını sürdürebilmek için Maxwell'in denklemlerini değiştirmişti; öyle ki ışık hızını mutlak değeri  $c$ 'den başka bir şey yapacak şekilde hareket edemezsiniz. Işık hızı değiştirilemeyecek bir sabitti. Hareketli bir ışık kaynağına doğru yönelin, ışık size her zaman  $c$  hızıyla gelir. Uzaklaşın, yakınımdan  $c$  hızıyla geçtiğini ölçersiniz. İşte enerjiyle kütle arasındaki bağlantıyı bulduğumuz yer de burasıdır.

### Işığı Kütle Taşır

Einstein enerjinin –herhangi tür bir enerji– varlığının beraberinde ilişik bir kütle getirdiğini ileri sürüyordu.  $E=mc^2$ 'yi ortaya koyduğu makalesinin yayınlanmasından kısa bir süre sonra yakın dostu Conrad Habicht'e yazdığı bir mektupta belirttiği üzere “Görelilik ilkesi, Maxwell'in temel denklemleriyle birlikte, kütlelerin, bir cismin içerdiği enerjinin doğrudan ölçüsü olmasını gerektirir; ışık beraberinde kütle taşır.”

Einstein'ın dikkat çektiği ilk açılım radyoaktiviteyle ilgiliydi: Radyum enerji veriyorsa aynı zamanda biraz kütle kaybetmek zorundadır. Alman fizikçi Max Planck daha sıkıcı (fakat bazı bakımlardan daha sağlam) bir açılım görmüştü. Sıcak bir nesne, diyelim ki kızgın bir tava, soğuk bir nesneden daha ağır çekecektir. Bu devrimci bir fikirdi, bugün bile kulağa biraz tuhaf gelir. Yine de kesinlikle doğrudur. Artık, kütlelerin enerjiyi taşımanın bir yolu olduğu yönünde iyi kanıtlarımız var. Hareket edebilirsiniz, kinetik enerji taşıyabilirsiniz; ama aynı zamanda sırf var olarak enerjinizi kilitleyebilirsiniz. Bunun neden böyle olduğunu görebilmek için kütlelerin kökenini incelememiz gerekiyor.



## Kütle Nereden Gelir

Kökenlerinde bağımsız kütlesi olmayan parçacıklardan oluşuyorsunuz. Bu parçacıklar kütlelerini “Heisenberg belirsizlik ilkesi” olarak bilinen kuantum fenomeninden alıyor. Kökeninde bu ilke doğadaki her niceliğin bir bulanıklık taşıdığını, sabit bir değeri olmadığını söyler. Bu durum boş uzayın enerjisi açısından bile geçerlidir: Boş uzayın sıfır enerjiye sahip olduğunu düşünsek de aslında belirledikleri kadar hızlı bir biçimde ortadan kaybolan “sanal” parçacık çiftleri halinde ortaya çıkan enerjiyle doludur. Öyle anlaşılıyor ki bu yüzergezer hayaletimsi parçacıklar kızartma tavaasına kütlelerini veren şeylerdir.

Ölçeği küçültüp kızartma tavaasından demir atomuna, oradan demir çekirdeğine incek olursanız kendinizi demir çekirdeğindeki protonları ve nötronları oluşturan kuark denilen parçacıklara bakarken bulursunuz. Fizikçiler kuarkların kütleleri üzerine çalışırken kızgın tavaanın ağırlığını açıklamaya hiçbir biçimde yaklaşmamışlardır. Kütle aslında boş uzayın dalgalı enerjisinde kendini gösteren sanal parçacıklarda mevcuttur. Yüksek enerjiye sahip parçacıkların çarpıştırılmasını ve milyonlarca rakamla işlemler yapılmasını gerektiren deneyler bu “glüonların” proton ve nötrondaki kuarkları bir arada tuttuğunu, bunun için gerekli enerjinin de tavaanın ağırlığı olarak gördüğümüz şeyin büyük bölümü olduğunu doğrulamıştır.

İşte bu yüzden sıcak tava daha ağır çekmektedir. Bir kızartma tavaasının kütlelerinin neredeyse tamamının boş uzayın baloncuklar oluşturan enerjisinden geldiğini düşünürsek sıcaklık biçiminde biraz daha enerji eklediğimizde kütlelerin de artacağına inanmak o kadar da zor görünmüyor. Varoluşumuzun kalbinde yatan şey, yüksek enerjili süreçlerin bu enerjiyi serbest bırakma becerisidir. Güneşte hidrojen atomları birleşir de nihayetinde bir helyum atomu oluşturursa bu süreç atomların glüon enerjisinin (kütle dediğimiz enerji) bir bölümünü ısı ve ışık olarak –Dünya’da hayatı ortaya çıkaran ısı ve ışık– serbest bırakır.

Işık hızının muazzam boyutları ve  $E=mc^2$  gerçeği sayesinde sıradan maddede kilitli kalmış şaşırtıcı miktarda enerji vardır. Örneğin bir ceviz tanesi, içinde, bir şehri aydınlatacak kadar potansiyel enerji taşır. Elbette ki buna benzer bir şeyi serbest bırakmış bulunuyoruz; cevizlerde değil de uranyum atomlarında. Uygun bir biçimde hazırlandığında uranyum atomlarının glüon enerjisi şehirlere elektrik sağlamak ya da onları bombalamak için serbest bırakılabilir.

Gerek bombalarda gerek elektrik santrallerinde, başlangıçta ve sürecin sonunda parçacıkların kütlelerini ve serbest kalan enerji miktarını ölçtük. Her durumda denklemin doğru olduğu görülmüştür:  $E$  gerçekten de  $mc^2$ 'ye eşittir. Einstein’ın denkleminin geçerliliğine dair en fazla doğruluk taşıyan kanıt 2005’te ortaya konmuştur. Hiç şaşırtıcı değil; çünkü bu kanıt, ıstırap verici derecede duyarlı ölçümler yapılmasını gerektiriyordu. Denklem sol tarafındaki enerji ölçülmüş, bir araştırmacılar

ekibi bir gama ışını fotonunun enerjisini 1 milyonda bir hata payıyla ölçmüştü.

Bu arada denklemin kütle tarafındaysa, araştırmacıların bir iyonun kütlesinin bir gama ışını fotonu saldığına nasıl değiştiğini ölçmesi gerekmişti. Burada kütle bakımından küçük bir değişim söz konusuydu; New York ile Los Angeles arasındaki mesafede bir kıl genişliği değişim olduğunu görmeye eşdeğer bir değişimdi bu. Çirkin bir sürpriz yoktu: Araştırmacılar iki ölçüm arasında şaşırtıcı bir uyum olduğunu gördüler. Öyle görünüyor ki  $E$  gerçekten de  $mc^2$ 'ye eşitti, üstelik 2 milyonda 1'den daha az bir sapmayla eşitti. Rahat olabilirsiniz: Bildiğiniz tek denklem gayet sağlamdır.

# EVRENİ TEK BİR BAKIŞIMLA

# DEĞİŞTİREBİLİR MİYİM?

*Tahmin edilemez derecede heyecan verici kuantum bağlantıları ve tarihi yeniden yazma fırsatı*

*Einstein bu soruyu biraz farklı bir biçimde yöneltmişti. 1950'lerin başında, genç fizikçi Abraham Pais'ye dönüp kaşlarını kaldırarak sormuştu: "Ay'ın sadece ona baktığında var olduğuna inanıyor musun?"*

Einstein, son 20 yılını kuantum teorisinin öncüleri karşısında giderek daha büyük bir hayal kırıklığı duyarak geçirmişti. Kuantumcuların elebaşı Niels Bohr kurama içkin olan tuhaflığın, örneğin atomların aynı anda iki yerde birden olmasının ya da sonuçların nedenlerden önce belirmesinin, bir şeyin –Ay'ın bile– ancak ölçüldüğünde, yani gözlemlendiğinde gerçekten var olduğu şeklinde açıklanabileceğini iddia ediyordu.

Einstein'ın Pais'ye yönelttiği soru sağduyuya bir davetti, rahatsızlıktan kaynaklanıyordu. Ay gibi kocaman ve daimi bir şeyin binlerce mil ötedeki küçücük bir insan gözlemcisinin insafına kalmış olabileceği fikri anlamsızdır. Kuantum kuramının 20. yüzyılın başlarında gelişmesiyle birlikte, saçmalık üstünlük haline geldi. Pais, hatıralarını anlatırken Einstein'ın geçmişe neden bu kadar takılıp kalmış olduğunu merak ettiğini söyler. Einstein'ın biyografisini kaleme aldığı *Subtle is the Lord* başlıklı kitabında, "Modern fiziğin yaratılmasına hiç kimseyle kıyaslanamayacak kadar katkıda bulunmuş bu adam 19. yüzyıldaki nedensellik kavrayışına neden bu kadar bağlı?" diye sorar.

<>

“Ay’ın sadece ona baktığında

var olduğuna inanıyor musun?”

**ALBERT EINSTEIN**





18. yüzyılda bile insanlar gerçekliğin doğasını sorgulamışlardı. Piskopos George Berkeley meşhur bir iddiada bulunmuş, bir ormanda etrafta bir ağacın düştüğünü duyacak kimse yoksa ağacın hiç ses çıkarmayacağını ileri sürmüştü. Dahası, ağaç onu algılayan biri olmadıkça var da değildi. Talihe bakın, Berkeley sağduyumuzun korunduğunu; çünkü Tanrı'nın her zaman gözlemci olarak hareket etmek üzere mevcut olduğunu ileri sürmüştü.

Niels Bohr da kuantum dünyasıyla ilgili olarak aynı yaklaşımı benimsemişti: Bohr kuantum kuramının tuhaflıklarına getirilebilecek tek uygun açıklamanın, hiçbir şeyin bir şekilde gözleninceye dek hiçbir özelliği ya da varlığı olmadığı olduğunu söylüyordu. Einstein'ın bu fikri kabul etmeye yanaşmaması, onu kuantum kuramının gelişiminden yalıtıyordu. Dahası bu fikri çürütme girişimleri de fikrin onaylanmasıyla son bulmuştu. Yaptığımız her deney, evet, evreni tek bir bakışınızla değiştirebilirsiniz anlamına geliyordu. Gücünüzün aracı neydi peki? “Dolaşıklık” olarak bilinen bir kuantum fenomeni.

### Uzay ve Zamana Dolanmış

Erwin Schrödinger dolaşıklığı kuantum kuramının tanımlayıcı özelliği olarak nitelmişti. Schrödinger dolaşıklığı ilk kez 1935'te fark etmiş, birbiriyle etkileşim halindeki iki parçacığa uygulanan kuantum kuramı denklemlerinin olağandışı bir nitelik kazandığını söylemişti. Parçacıklar, karşılaşmalarının ardından artık tek tek ayrı parçacıklar olarak tanımlanamıyordu. Birbirlerine bağlıydılar; A parçacığının kuantum tanımı –örneğin momentumu ya da spini– B parçacığı hakkında bilgi taşır; aynı şey tersi için de geçerlidir.

Bunun çok tuhaf bir sonucu olmuştu. B parçacığının özelliklerini değiştirirseniz, A parçacığının özelliklerini de değiştirmiş olursunuz. Parçacıklar arasında fiziksel bir bağ olması gerekmez; dolaşıklık bağı, birbirine dolaşık iki parçacık arasında nasıl bir ayırım olursa olsun, parçacıkları değiştirir. Uygun bir biçimde hazırlanmış iki dolaşık parçacık, biri evrenin bir ucunda, diğeri öbür ucunda olsa bile birbirlerinin kuantum durumunu anında değiştirirler.

Einstein bunların hiçbirini kabul etmiyordu ve buna *spukhafte Fernwirkungen* diyordu: “Uzakta gerçekleşmiş tahmin edilemeyecek derecede heyecan verici eylem.” Bunun kuantum kuramında hâlâ boşluklar bulunduğunu gösterdiğini söylüyordu. İki dostunun, Boris Podolsky ve Nathan Rosen'ın yardımıyla bu iddiasını kanıtlamaya koyuldu. Üçlünün anahatlarını çıkardığı senaryo hâlâ kuantum dünyasının tuhaflığını kanıtlamanın altın standardıdır. EPR paradoksu olarak bilinir ve her biri diğerdenden muazzam bir mesafe uzakta bulunan iki parçacık çiftinin akıbetiyle ilgilidir.

### Bell ve Heyecan Verici Hareket

EPR paradoksunun en kuvvetli deneysel versiyonu, 1964'te, Avrupa Nükleer Araştırma Örgütü'nden (CERN), İsviçre'nin Cenevre kentindeki parçacık fiziği laboratuvarından John Bell tarafından çizilmiştir. Bell, birbirine dolanmış iki elektronu ayırmayı ve onları Dünya'nın iki ucundaki deneycilere göndermeyi düşünmüştü. Deneyciler daha sonra eşzamanlı olarak elektron spinini ölçeceklerdi. Deneyin kurulum ayrıntıları karmaşıktı, fakat Bell'in önündeki güçlük şuydu: Ortodoks kuantum kuramı haklıysa, Einstein yanılıysa belli ölçümlerin iki spin arasında bir korelasyon göstermesi gerekiyordu.

Einstein, Bell'in deneyinin gerçekleştirildiğini göremeden öldü. Deney ilk olarak Fransız fizikçi Alain Aspect tarafından 1982'de uygulandı; fakat o zamandan bu yana sayılamayacak kadar çok test yapılmıştır ve bu *testlerin* hepsi de Einstein'ın gerçekten yanılmış olduğunu onaylamıştır. Dolaşıklık gerçekten de bir mesafede gerçekleşen, son derece heyecan verici bir eylemdi; hiçbir şeyin nesnel varlığını tanımayan bir eylemdi. Bell'in elektronları ancak bir ölçüm gerçekleştirildiğinde özellik kazanıyorlardı, yani sadece biri onlara baktığında.

Bir ormanda düşen bir ağacın hiç ses çıkarmadığına zaten inanıyorsanız benzerliği biraz daha ileri götürüp gerçekten dikkat çekici şu noktayı da belirtmek gerekir: Bir ağacın gövdesini kesmek, diğerini düşürebilir; iki ağaç ayrı ormanlarda olsalar bile. Birbirine dolaşık bir çift elektron birbirini hemen etkiler, evrenin iki ucunda olsalar bile. Bu durum gerçekten Einstein'ın iddia ettiği kadar heyecan vericidir; standart zaman ve uzay yorumu kuantum dolaşıklığının ışığında hiçbir şeye iniyormuş gibi görünmektedir.

## Işınla Beni

Dolaşıklık uygulamaya konmaya başlamıştır. Örneğin kuantum kriptografisi, dolaşıklık bağlantılarının son derece hassas olduğu gerçeğiyle birlikte, bilgiyi güvence altına almanın bir yolu olarak "uzaktan kumanda" işlevini kullanmaktadır. Bu, mazide kalmış bir uygulamaya, önemli yazışmaların mühürlenmesine benzemektedir; dolaşıklıkla şifrelenen mesajlar müdahaleden muafır; çünkü herhangi bir dinleme girişimi aradaki bağlantıyı koparacaktır.

Kavramsal olarak çok daha etkileyici olan (ama pratik kullanıma o kadar yakın olmayan) şey, dolaşıklığın mümkün kıldığı kuantum teleportasyonudur. Bu karmaşık bir operasyondur; ama temeli, dolaşık parçacık çiftlerinden biri üzerinde yapılacak bir ölçümün diğer parçacık çiftini özelliklerini değiştirmeye zorlayacağıdır. Uygun beceriler ve incelikle gerçekleştirildiğinde, uzaktaki parçacık aynı yerde olmasına gerek kalmaksızın orijinalin bütün özelliklerini taşıyabilir. Bu süreç başka parçacıkları da içerir; bazı bilgilerin "normal kanallar" üzerinden aktarılmasını da içerir; bu yüzden belki de teleportasyondan çok telefaks diyebiliriz. Gelgelelim yine de etkileyici bir yeniliktir. Şimdiye dek fotonlar gibi yalnızca tek tek parçacıklar üzerinde gerçekleştirilebilir olsa da bu teknolojiyi daha fazla kuantum parçacığı, belki de bir ya da daha fazla atom aktarmakta kullanmamamız için temel bir sebep yoktur.

Bu durum hiç kuşkusuz işe yarayacaktır: Uzay Yolu tarzı insan teleportasyonuna erişebilmemiz son derece ihtimal dışı olsa da kuantum hallerini bu biçimde hareket ettirmek hiç görülmemiş ölçekte bir bilgi işleme imkânı sunar. Dünyanın dört bir yanında birçok araştırma grupları, hesaplamaları normal bir bilgisayarın yapabileceğinden kat kat daha büyük bir hızla gerçekleştirecek "kuantum bilgisayarları" yapmaya çalışıyorlar. Kuantum hali teleportasyonu bu makinelerin çalışma biçimleri üzerinde kilit bir rol oynayacaktır. Gelgelelim evreni şekillendirmekteki rolümüzün kuantum deneylerindeki birkaç parçacığın varlığını ve özelliklerini belirleyen gözlemlerle son bulması gerekmez. 20. yüzyılın en saygın bilim insanlarından biri olan, artık aramızda bulunmayan John Wheeler'a göre, her birimiz kozmosun tarihini değiştirebiliriz.

## Dumanlı Büyük Bir Ejder

Wheeler'ın iddiası kuantum ölçümüyle ilgili değerlendirmelere dayanıyordu. Kuantum kuramının en tuhaf tezahürlerinden birinin, ışık fotonu gibi bir şeyin kendisine seçenek tanındığında mümkün olan bütün yolları kat edebilecek olmasında yattığı artık yaygın olarak kabul görmektedir. Bu

“süperpozisyon” kuantum nesnelere benzer karakterinden kaynaklanır. İki dar kesimin açılmış olduğu bir ekrana atışlanmış tek bir foton kesiklerin arka tarafına yerleştirilmiş bir ekran üzerinde karanlık ve aydınlık bantlardan bir örüntü oluşturacaktır. Bu bir “karışım örüntüsüdür” ve dalga davranışıyla ilişkilidir. Gelgelelim karışım üretebilmek için fotonun iki kesikten birden geçmiş olması gerekir. Peki, ama tek bir foton bunu nasıl yapabilir?

Bu sorunu fotonu izleyerek çözmemiz akla yatkın görünüyor. Kesiklere bakarsak fotonun hangisinden geçtiğini görürüz. Fakat fotonun hangi yoldan gittiğini belirlemeye yönelik herhangi bir girişim, karışım örüntüsünü bozar. Bu senaryoya göre foton bir kurşun gibi davranmakta, ya bir kesikten ya da diğerinden geçmekte, böylece hiç karışım örüntüsü yaratmamaktadır.

Tuhaftır, ama öyle görünüyor ki foton, kimse bakmıyorken bir dalga gibi, birileri bakıyorken de parçacık gibi davranma eğilimindedir. Bir fotonun çevresindeki şeylerle ilişkili olarak bir tür bilinçli tercih yapıyor olması fikri fizikçilere saçma gelen bir fikirdir. Einstein ile diğer fizikçilerin, gözden kaçırdığımız bir şeyler olması gerektiğini söylemiş olmalarının sebebi budur; fotonun davranışını belirleyen “gizli değişkenler” olması gerekir.

Wheeler bunu test etmenin bir yolunu önermişti. Fotonun izlediği yola, foton nasıl davranacağı “tercihini” yaptıktan sonra baksak ne olurdu? Bu durum fotonun davranış biçimini değiştirir miydi? Wheeler’ın “ertelenmiş tercih” deneyi, gerçekleştirilmesi kolay bir deney değildir; fakat fizikçiler bu deneyi gerçekleştirmeyi başarmışlardır. Bir fotonun aygıttan geçmesinin sadece 14,5 nanosaniye aldığı deneysel düzeneklerde, araştırmacılar fotonun bir dalga mı yoksa bir parçacık mı gibi davranacağını “tercih” etmesinin ardından düzeneği değiştirmeyi başarmışlardır. Fotonun aygıtı girmesinden dokuz nanosaniye sonra, foton iki kesikten birden dalga gibi geçmek üzere bölünmüşken ya da bir kurşun gibi doğruca tek bir kesikten geçmişken, araştırmacılar kesiklerden birine bir detektör yerleştirmişlerdir.

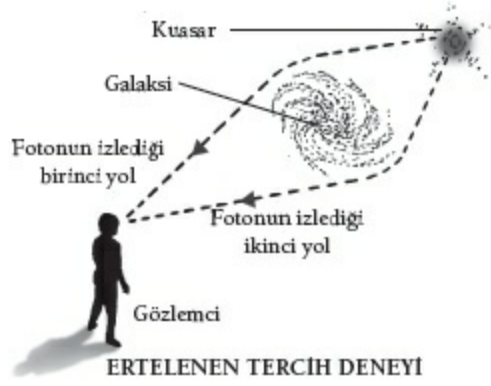
Peki, sonuç ne olmuştur? Bir detektör yerleştirildiğinde hiç karışım olmamıştır. Hiç detektör yerleştirilmediğinde, karışım görülmüştür. Standart kuantum kuramının tahmin ettiği şey de buydu: Bir detektörün varlığı, fotonu parçacık gibi davranmaya zorluyordu ve parçacıklar karışım örüntüsü oluşturmuyordu. Bu tuhaf davranış biçimi, gizli değişkenlerin varlığıyla açıklanabilecekse, foton çoktan şu ya da bu davranışa “bağlanmıştı.” Deneyi yapanların fotonu tespit edip etmemeye karar vermelerinden önce, foton bir dalga ya da parçacık olarak tezahür edecektir, kesiklerden geçtikten sonra bu tercihi değiştirmek gibi bir seçeneği olmayacaktır. Wheeler bu sonucun, kuantum süreçlerinin “büyük dumanlı bir ejder” olduğunu ortaya koyduğunu söylüyordu. Ejderin kuyruğunu –girdiyi– bilebiliyorduk. Ağzı –sonuç– da belirgindi. Fakat ejderin bedeni içine girilemez bir duman bulutuydu ve Wheeler da “Orada ne olduğu hakkında konuşmaya hakkımız yok,” diyordu.

Dahası Wheeler, aynı şeyleri evrenin süreçleri hakkında söyleyebileceğimizi de ekliyordu. Yıldızların ışık yayması nihayetinde bir kuantum sürecidir: Yıldız ışığının tek tek fotonları kuantum deneylerinde kullandığımız lazer ışığının fotonlarıyla aynı karaktere sahiptirler. Kozmik ölçekte gerçekleştirilen bir ertelenmiş tercih deneyi, laboratuarda yapılmış olanın aynısıdır; ama çok daha derin sonuçları vardır.

## Kozmik Tarihi Değiştirmek

Wheeler kışkırtıcı bir düşünce deneyinde, vurgulamak istediği noktayı ortaya koymak için kütleçekimsel mercekleme fenomenini kullanmıştı. Uzak bir yıldızın ışığı Dünya’ya doğru yol alırsa

kocaman bir galaksinin yakınından geçebilir. Galaksinin kütlesi ışığı büker ve ortada bir tek galaksi olmasına rağmen iki galaksi varmış yanılması yaratır. Einstein bu fenomenden, genel göreliliğin tahminlerinden biri olarak bahsetmişti; bu tahmin İngiliz gökbilimci Arthur Eddington, 1919'da bu efekti ölçtüğünde doğmuştu.



Wheeler'ın bakış açısına göre bu mercekle oluşumu, iki kesik deneyinin devasa ölçekte gerçekleşmiş bir versiyonuydu. Yıldızdan gelen bir fotonun alabileceği iki yol vardır. İki yolun bir sonucu olarak karışım etkilerini gözlemenin bir yolunu biliyor olsaydık bir karışım örüntüsü görürdük. Wheeler'ın tercih ettiği nesne Kuasar 0957+561A,B olmuştur. 7 milyar aşkın ışık yılı uzaktadır ve bizimle Kuasar arasındaki bir galaksi sayesinde teleskoplarımızda Kuasar'ın iki görüntüsünü görürüz. Kuasar'ın ışığının bize ulaşması 7 milyar yıl alır ve bu yolculuğun büyük bir bölümü de galaksinin merceğinden sonra gerçekleşir. Wheeler bu yüzden zaman ayırıp ışığı parçacık detektörüyle mi yoksa dalga detektörüyle mi ölçeceğimizi düşünebileceğimizi söylemiştir. Neye karar verirsek verelim, kararımız o fotonun galaksinin etrafındaki yollardan birini mi yoksa ikisini birden mi izlediğini belirleyecektir.

Bu kararı fotonun söz konusu galaksiyi geride bırakmasından milyarlarca yıl sonra verebiliriz. Wheeler 1981'de "Gevşek bir dille söyleyecek olursak fotonun ne yapmış olacağına, o bunu yaptıktan sonra karar vermiş oluruz," diye yazmıştı. Bohr'un bir ölçüm yapıncaya kadar hiçbir şeyin özelliği olmadığı fikri kulağa tuhaf geliyordu. Fakat bu kozmik düşünce deneyi sonrasında Wheeler absürdlükte onu geride bırakmıştır. Bohr'un fikrini yutmak birden çok daha kolaylaşmıştır.

Wheeler 1992'de kuantum fenomenlerinin "ne dalga ne parçacık olduğunu, esasen ölçüldükleri ana kadar tanımsız olduklarını" söylemişti; bu yüzden Piskopos Berkeley "var olmak algılanmaktır," dediğinde haklıydı. Fakat meseleyi aynı şekilde tersine çevirebilir ve ertelenen tercih deneyinin kozmosta sadece kuramsal olarak gerçekleştirilmiş olsa da laboratuarda başarılı bir biçimde gerçekleştirilmiş olmasının evrenin tarihine, muhtemelen başlangıcından itibaren katılabileceğimizi gösterdiğini iddia edebiliriz.

"Evren nasıl oluştu? Bu süreç, analiz etme umudumuzun ötesinde kalan tuhaf, çok uzaklarda gerçekleşmiş bir süreç miydi? Yoksa gerçekleşmiş olan bu mekanizma her zaman kendisini gösteren bir mekanizma mıdır?" Bu sözler Wheeler'ın Büyük Patlama'nın bir kuantum olayı olup olmadığını merak ettiğini yansıtır; Wheeler evrenin aynı zamanda gündelik hayatı yöneten bir olayla varlık bulup bulmadığını merak etmiştir.

Wheeler'ın "katılımcı" evreni, yani gözlemcilerin rolünün kozmik tarihin kuantum doğasını değiştirdiği evren bu iddiayı savunma yolunda ilerler. Fakat Cambridge Üniversitesi'nde görev yapan kozmolog Stephen Hawking daha da ileri gider. Hawking, kuantum dünyası, şimdi bulunduğumuz

yerden evrenin tarihini belirlememizi mümkün kılar, der. Hawking buna “yukarıdan aşağı kozmoloji” der ve o daimi soruyu çözdüğünü düşünür: Büyük Patlama’dan önce ne gelmişti?

## İlk Önce Ne Oldu?

Birçok fizikçi Büyük Patlama öncesindeki şeyleri tartışmaya çalışmanın Kuzey Kutbu’nun kuzeyinde ne yattığını sormak kadar saçma olduğunu söyleyecektir. Nihayetinde Büyük Patlama’yla birlikte zaman vuku bulmuştur (bkz. *Zaman Nedir?*); saatler tiktaklamaya başlamadan, “önce” ve “sonra” kavramlarını değerlendiremeyiz.

Fakat Hawking yaratılış anında durmaya niyetli değildir. Evreni var olmaya neyin ittiğini sormanın hayli mantıklı olduğunu söyler. Beklenebileceği üzere bu, ince ve zorlu bir argümandır; fakat fizikteki çok iyi oturmuş fikirlerden yararlanmaktadır. Bu fikirlerin ilki, Wheeler’ın en ünlü yüksek lisans öğrencisi Richard Feynman’ın ileri sürdüğü bir kuantum kuramı yorumudur.



“Kuantum dünyası evrenin bütün

tarini belirlememizi mümkün kılar.”

*STEPHEN HAWKING*



Bu yoruma “tarihlerin toplamı” denir; Feynman’ın yorumu kuantum süreçlerinin eşzamanlı olarak bütün olası yolları izlediğini savunmaktadır. Örneğin çifte kesik deneyinde karışım örüntüsü, fotonun sadece iki kesikten değil, başka olası bütün yollardan da geçmesinin, örneğin detektöre çarpmadan önce ayın yüzeyine vurup geri dönmesinin bir sonucudur. Yolların her biriyle ilişkili bir olasılık vardır; tıpkı bir dalga gibi pozitif ve negatif olarak belirir. Her şey birbirine eklendiğinde ortaya çıkan toplam, bir deneyde gözlemlene eğiliminde olduğumuz şeyi betimler.

Hawking tarihlerin toplamı fikrini evrene uyarladığında, gerçekten de tarihler demek istemişti. Bunun, evrenin hikâyesi için olası her senaryoyu bir araya getiren muazzam bir “peki ya böyle olsaydı” deneyiyle bir benzerliği vardır. Bir senaryoya göre güneş sistemimiz oluşmamıştır. Bir başka senaryoda kütleçekim muazzam boyutlarda artmıştır. Olaylar da buna göre değişir: Örneğin Hawking’in Elvis’in hâlâ hayatta olduğu bir tarihi düşünmesi gerekmiştir. Bu senaryoların her birine ilişik bir olasılık vardır.

### Her Zaman Değişen Evreniniz

Bütün bu tuhaf olasılıklardan daha rahatsızlık verici olan şey, bunların bugün yaptığımız ölçümlere tabi olmasıdır. Tıpkı bir parçacık ya da bir dalga ölçmeyi tercih etmenin kuantum çifte kesik deneyinin sonucunu değiştirmesinde olduğu gibi, Hawking, bugün evrene bakma biçimimizin evrenin milyarlarca yıl önceki evrilme biçimini değiştirebileceğini teslim etmiştir.

Hawking bunun tuhaf bir fikir olduğunu kabul eder; fakat sırf biz söz konusu evrenin içinde olduğumuz için tuhaf göründüğünü söyler. Hawking’in bakış açısına göre, evrenin dışından bakan biri hiç tuhaf bir şey görmeyecektir. Böyle bir gözlemci evrenin nasıl olup da hiçbir şeyden varlık bulduğunu görebilir. Böyle bir şey mümkündür; çünkü Feynman’ın tarihler toplamı –dolayısıyla Hawking’in hesaplamaları– bir “hayal edilen zaman” mefhumuna dayanmaktadır.

Tasavvur edilen zamanı kullanmak kulağa fantastik gelse de bu sanıldığı kadar zor değildir. Mühendisler elektrik devrelerinin davranış biçimini betimleyip tahmin etmek üzere gerçek ve hayal edilen bileşenlerden oluşan rakamlar kullanırlar.

Hawking’in yukarıdan aşağıya kozmolojisinde, hayal edilen zaman kullanılarak hesaplanan evrenin tarihler toplamı normal zamanı uzamsal bir boyuta çevirir. Bunun sonucu evrenin sorunlu “başlangıcı”nın ortadan kaybolmasıdır. Evrenin enerjisinin küçücük hacimler halinde paketlenildiği eski günlerde, her şey kuantum kurallarına uygun akıyordu ve zaman dediğimiz şey de aslında uzayın bir boyutuydu.

Dolayısıyla kuantum kuramının en azından bu yorumuna göre, zaman uzayın doğasındaki bir değişiklikten doğmuştur. Hawking’in esnek, değişebilen evreni, bazı düzeylerde son derece çekicidir. Bizim evrene katılmamızı sağlar ve Büyük Patlama öncesi durum sorununu bir kenara bırakır. Fakat aradığımız cevap olarak evrensel kabulden uzaktır.

Aklımızda tutmamız gereken en önemli nokta, kuantum dünyasının gerçekte nasıl işlediğini hiç kimsenin anlamıyor olmasıdır. İzlediğiniz yorum ister Feynman’ın tarihlerin toplamı yorumu, ister Bohr’un nesnel bir gerçekliğin varlığını reddetmesi olsun, bu tercih, birçok bakımdan bir zevk



meselesidir. Birçok fizikçinin kendilerini kuantum kuramının “çeneni kapa ve hesapla” yorumunun takipçisi olarak görmesinin sebebi budur. Bu pragmatik konumda, hiç birimiz ne anlama geldiğini bilmesek de bununla oynamaktan hoşlanırsınız ve bu da yeterli olabilir.

Cornell Üniversitesi'nde görevli fizikçi David Mermin bütün bunları gayet güzel bir biçimde özetliyor. Kuramın tahmin etme gücü “o kadar güzel ve o kadar güçlüdür ki kendi başına eksiksiz bir açıklamanın ikna edici karakterini üstlenebilir.” Ama bir açıklama değildir. Bu yüzden kuantum kuramı evreni tek bir bakışla değiştirebileceğinizi söylediğinde, bu kuramı hâlâ cehalet ve anlamazlığın engelleyici sis perdesinin ardından gördüğümüzü unutmamalıyız. Ay'ın sizin sayenizde belirdiğine inanmanızda sorun yok. Yeter ki başka herkesi güçlerinize inandırmaya çalışmayın.

# **KAOS KURAMI FELAKET**

# TELLALLIĞI MI YAPIYOR?

*Kelebek etkisinin hava durumu, iklim ve gezegenlerin hareketi üzerindeki etkisi*

*Bu pek de öyle yeni bir fikir değildir. Bu kavrayışla büyümüş bile olabilirsiniz, bilinen bir çocuk tekerlemesinde şöyle der:*

*Bir tırnak yüzünden bir nal kaybedildi,*

*Bir nal yüzünden bir at kaybedildi,*

*Bir at yüzünden bir süvari kaybedildi*

*Bir süvari yüzünden bir savaş kaybedildi*

*Bir savaş yüzünden bir krallık kaybedildi*

Kimi zaman “kelebek etkisi” olarak bilinen kaos kuramıdır bu. Tek bir tırnağın yokluğu jeopolitiği istikrarsızlığa sürükleyebilir mi? Bir kelebeğin kanatlarını çırpması binlerce kilometre ötede fırtınaya yol açabilir mi? Cevap evettir ve her zaman böyle olur. Tabii kesinlikle bunlara yol açacak biçimde değil. Yukarıda bahsettiğimiz tekerleme, ortaya çıkacak sonuçlara oyuncu bir biçimde bakmanın bir yoludur açıkçası. Zaten kelebek bile ortaya atılıveren bir yorumla doğmuştur.

Bu alanda araştırmaları başlatan Edward Lorenz 1972’de Amerika Bilimin İlerlemesi Cemiyeti’nin toplantısında bir konuşma yapacaktı; gelgelelim konuşmasına bir başlık bulamamıştı. Oturumun başkanı Philip Merilees nihayetinde bir şey buldu. Lorenz dokuz yıl önce kaleme aldığı bir makalede bir meteorologun kaos kuramıyla nasıl alay ettiğinden bahsetmişti; meteorolog, kuram doğruysa “bir martının kanatlarını çırpmasının hava durumunun gidişatını sonsuza dek değiştireceğine” işaret etmişti. Merilees nihayetinde bu sözleri hatırlamış ve popüler kültüre ancak pek az bilimsel kavramın başardığı kadar girecek bir değişken yaratmıştı. Lorenz’in konuşmasının başlığı “Brezilya’da kanatlarını çırpın bir kelebek Teksas’ta bir fırtınaya yol açar mı?” idi.



“Brezilya’da kanatlarını çırpan bir kelebek

Teksas'ta bir fırtınaya yol açar mı?"

**PHILIP MERILEES**



Kelebek etkisi için kullanılan resmi terim “başlangıçtaki koşullara duyarlı bağıllık”tır. Temel fikir zaman içinde değişen birçok sistemin –ister hava durumu gibi doğal olsunlar, ister bir bilgisayar programının sayısal çıktısı gibi yapay olsunlar– başlangıçlarında minicik bir değişiklik bile yapılmış olsa çok farklı bir biçimde son bulmuş olacaktır. Bu basit gözlemin o kadar köklü sonuçları olmuştur ki yeni bir araştırma alanının doğmasını beraberinde getirmiştir.

Bilindiği adıyla bu alanın, kaos kuramının sonuçları bilimin tamamında hissedilmiştir. Kaos kuramının etkisi, gezegenlerin dinamiğinden tutun salgınların insan nüfusları arasında yayılma biçimine varıncaya dek önemli olduğu kadar geniş erimlidir. Öyle görünüyor ki bütün evren bir kaos hali içindedir. Bu keşif görkemli bir unvanı olan Marki Pierre Simon de Laplace’a korkunç bir şok gibi gelmiş olabilir. Laplace 18. yüzyılda Newton’ın yarattığı devrimi neşeyle kucaklamıştı. Onun, Newton’ın kütleçekim kuramını alıp bütün gezegenlerin hareketlerinin haritasını çıkarmak için kullandığı, evrenin mekanizmasından bahsettiği kitabı bir başyapıttı. Bundan birkaç yıl sonra Laplace bilinen bütün fenomenleri ehlileştirmek için cesurca bilimin gücüne yaslandı:

*Belli bir anda doğada hareket eden bütün kuvvetleri ve evrendeki bütün nesnelere konumunu bilen bir zeka –gerekli bütün hesaplamaları yapabilecek çocukluğundan beri hava olaylarını izlemiş; II. Dünya Savaşı sırasında da Amerikan Hava Kuvvetleri için hava durumu tahminleri yapmıştı. Savaştan birkaç yıl sonra Massachusetts Institute of Technology’de araştırma görevlisi olarak çalışırken meteorolojiyi matematikle ve nispeten yeni bir bilim olan bilgisayarla birleştirdi. Hava durumunun basit bir versiyonunun modelini çıkarabilecek bir işlemci yaptı. Ve işte tam bu noktada kelebek etkisini keşfetti.*



Böyle bir zekaya göre hiçbir şey belirsiz olmayacaktır;

gelecek tıpkı geçmiş gibi açık bir kitap olacaktır.

PIERRE SIMON, MARQUIS DE LAPLACE



Bilimde çok önemli birçok atılımda olduğu gibi, bu keşif de kazara oldu. 1961 yılında bir öğleden sonra Lorenz, bilgisayarında bir hava durumu simülasyonunun yarısına gelmişti, vakti kısıtlıydı. Başlamak istediği yerden itibaren çıktısını almayı düşünerek simülasyonun geri kalan yarısının basılmasını sağlayacak olan rakamları yazdı. Simülasyon yanlış çıktı, en azından orijinalinden bir hayli farklıydı.

Bu belirgin hata yüzünden telaşa düşen Lorenz girdi olarak ne kullandığını kontrol etti. İnce ayrıntıların hiç fark yaratmayacağını düşünerek üçüncü basamaktan sonraki rakamları kesip attığı dikkatini çekti. Bilgisayar önceden 0,506127'yi kullanırken, Lorenz 0,506 yazmıştı. Bu da devasa bir farklılık yaratmıştı. Lorenz başlangıçtaki koşullara duyarlı bağıllığı keşfetmişti: Sınırlı bilgimizden kaynaklanan bir tahmin edilemezlik söz konusuydu.

Cetvellerimiz sonsuz derecede küçük, eylemlerimiz sonsuz derecede pürüzsüz, makinelerimiz sonsuz derecede güçlü değildir. Dolayısıyla gerçekleştirdiğimiz her ölçüm ve bu ölçümleri kullanarak yaptığımız her hesaplama küçük, fakat sonlu bir hata taşıyacaktır. Lorenz'den önce bunun hata kadar küçük bir soruna yol açtığı düşünülebilirdi. Fakat başlangıçtaki koşullara duyarlı bağıllık büyük bir sıklıkla hatanın nihayetinde devasa olacağı anlamına gelir.

Baktığımız her yerde kaos görürüz. Örneğin güneş sistemi kaotiktir; çünkü iki cisimden fazlasının etkileşimini gerektirir. Henri Poincaré'nin kanıtlamış olduğu üzere iki cisim arasındaki etkileşimleri betimleyecek denklemlerin çözümleri bulunsa da bu cisimlere bir tane daha –ya da birkaç tane daha– eklerseniz hiçbir kesin çözüm bulunmayacaktır. Denklemi tanımlayan matematiksel denklemler basitçe çözülemez.

Sayılamayacak kadar çok kayanın, asteroidin ve kuyruklu yıldızın lafını bile etmiyoruz, sekiz gezegen ve bir güneşle göklere kaos hâkimdir. Fakat saat gibi işleyeceğine kaosla işleyen bir sistem, her an başka bir gezegenle çarpışma tehlikesi içinde olduğumuz anlamına gelmiyor. Kaotik yörüngeler genellikle “sınırlıdır”, genellikle hiç tekrarlamayan döngüler içinde; fakat sınırlı bir uzay içinde hareket ederler, böylece çarpışma tehlikesi sınırlanmış olur.

## Garip Güzellik

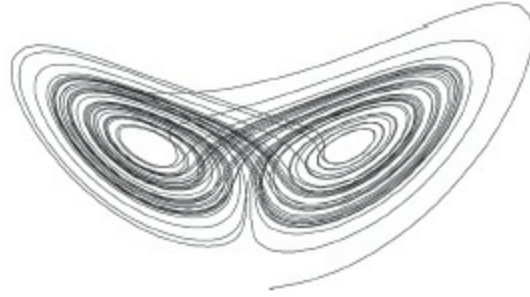
Kaosun katı sınırlar dahilinde işlediği bu sınırlılık başka bir kaos ikonunun yükselmesine neden olmuştur: “Garip çekici.” İkili sarkaç gibi kaotik davranışlar gösteren basit bir sistem düşünün: İki top birbirine gevşekçe bağlanmış ve serbestçe salınıyor olsun. İkili sarkacın serbest hareketi bacağınızı kalçanızdan hareket ettirmenize benzer; ama diziniz iki yöne de bükülebiliyordur. Kendi gözlerinizle görünceye dek, ikili sarkacın gösterdiği öngörülemezlik derecesini hayal etmek imkânsızdır. İleri geri sallanıp durur; her salınmanın son noktası görünüşe bakılırsa rastgeledir.





*İKİLİ SARKAÇ*

Keyfi bir başlangıç noktasından hareketle serbest salınan ikili sarkacın uç noktası, belirgin şekiller oluşturan halkalardan oluşan bir desen çizer. Aynı halka ikinci bir kez çizilmese de oluşmuş örüntüden fazla bir sapma görülmez. Garip çekiciye adını veren, belli bir biçime bu biçimde “çekilmek” olmuştur. Garip çekicinin belki de en meşhur örneği, kelebek şeklindeki Lorenz çekicisidir. Bu, kaotik bir sistemin üç boyut içinde hareketinin bir haritasıdır. Hareket devam ettikçe çizgiler giderek yoğunlaşır. Fakat izlenen yol kendi kendisini kesmez ve asla tekrar etmez.



*LORENZ ÇEKİCİSİ*

Bir üçgenin köşeleri olarak yerleştirilmiş üç mıknatısın hemen üzerinde hareketlendirilmiş çelik bir sarkaç da benzer bir örüntü yaratır. Mıknatısların her biri çelik top üzerinde bir çekim yaratır ve bu çekim top mıknatısın alanına girip çıktıkça değişir. Birbirine rakip bütün çekimlerin toplamı sarkacı ilk konumunda ya da ivmesinde en küçük bir değişime duyarlı olan kaotik bir yörüngeye sokar. Bu durum sarkacın tuhaf çekicisinde de görülmektedir.

### Kaos Saldırdığında

Bu kaotik yörüngelerin sınırlı olmaları son derece uç sonuçlara yol açmayacakları anlamına gelmiyor. Bu durum gezegenlerin birbirleri üzerinde yaratabilecekleri etkilerde görülmüştür. Yörüngeler beklenen yollarından çok fazla sapmasalar da kaotik hareket zaman zaman bir felaket tehdidi yaratabilir. Hesaplamalar Satürn’e solar rüzgârı oluşturan parçacıklardan gelebilecek minicik bir tekmenin gezegenin yörüngesini “aperiyodik” hale getirebileceğini göstermiştir. Bu, Satürn’ün güneşin etrafında her döndüğünde biraz farklı bir yol izleyecek olması anlamına gelir.

Korkutucu bir ihtimaldir bu; çünkü Jüpiter, Satürn ve Güneş’in bir noktada aynı hizaya gelmesi ihtimaline kapıyı araları. Bu üçlünün bileşik kütleçekimi Mars ve Jüpiter’in yörüngeleri arasında yatan asteroit kuşağından kayaları çekmeye ve asteroit yağmuru başlatmaya yeter. Dinozorların

sonunu getiren asteroit yağmuru öncesinde böyle bir olayın gerçekleştiği yolunda iddialar vardır. Böyle olmuşsa bu, kaosun biyoloji üzerinde etkili olduğu ilk olay değildir ve kesinlikle son olay da olmayacaktır. Kelebek etkisi çifte sarkacın salınmasına hükmettiği kadar biyolojiye de hükmeder.

## Doğanın Kaosu

---

### FRAKTAL ÖRÜNTÜLER

*İşte size basit bir soru: Britanya'nın sahil şeridinin uzunluğu nedir? Şöyle birkaç ansiklopedi karıştırın, feci derecede farklı cevaplarla karşılaşacaksınız; farklılık oranı yüzde 20'ye kadar varabilir. Bunun sebebi verilebilecek en düz cevabın, cetvelinizin büyüklüğüne bağlı olmasıdır. Küçük bir cetvelle çalışırsanız, her zaman ölçülecek küçük şeyler olacaktır. Sahil şeritleri de, doğal dünyanın birçok unsuru gibi kendilerine benzer, yani fraktaldir.*



*Sonuçta fraktal bir sahil şeridini daha yakından ölçüp elinizdeki toplam uzunluk değerine eklemeye bulunabilirsiniz. Fraktal bir yapıya yakından baktığınızda, gördüğünüz şeyin özü değişmez. Her büyüklük ölçeğinde, aynı örüntüler tekrar eder. Örneğin çöldeki kum tepelerinden ya da okyanustaki dalgalardan başka bir şeyi göstermeyen bir resme baktığınızda, birkaç kilometrekarelik bir alana mı, yoksa birkaç santimetrekarelik bir alana mı bakıyorsunuz, söyleyemezsiniz. Aynı şey sahil şeritleri için de geçerlidir.*

*Bir fraktal yaratmak, basit fakat tekrarlanan şekiller çizme meselesidir. Örneğin Koch kar tanesi, mevcut bir üçgenin her kenarının merkezine eklenmiş üçgenlerden oluşur. Eklenen üçgenlerin kenar uzunlukları, üzerinde buldukları kenarın uzunluğunun üçte birine eşittir. Bir-iki tekrardan sonra ortaya çıkan sonuç şaşırtıcı derecede ayrıntılı bir örüntü olur.*

*İnce ayrıntılar fraktallerin köşetaşısıdır; tam da bu noktada kaos kuramıyla ilişkilidirler. Kaos kuramı mükemmel derecede doğru bir tablo yaratmanın mükemmel derecede doğru bir enformasyonla işe başlamaya dayalı olduğunu söyler, ama bu imkânsızdır. Kaotik bir sistemde, enformasyondaki herhangi bir yanlışlık korkunç derecede büyüyecek, ortaya feci derecede çarpık bir tablo çıkacaktır. Fraktaller kaos kuramının tepetaklak edilmiş hali gibidir: bir tablodan edinebileceğiniz enformasyonun tutarlılığı ona ne kadar yakından baktığınıza bağlıdır; ne kadar yakından bakarsanız bakın, hiçbir zaman mükemmel derecede doğru bir enformasyon almanızı sağlayacak kadar yakından bakamazsınız.*

*Sonuçta fraktal davranışın tezahürleri aynı ölçüde ilgi çekici ve öfkelenendiricidir. Doğal dünyanın dışında fraktal yapılar bulmak araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Finansal veriler – örneğin borsa işlemlerinin kayıtları– sıklıkla fraktal bir biçim alır, bu da ayrıntılı yapılarının saçma denecek kadar basit kurallar doğduğunu düşündürür. Fakat bu kurallar hakkında yararlı enformasyon elde etmek saçma gelecek, hayalkırıklığı yaratacak kadar zordur.*

## KOCH KAR TANESİ DİZİSİ

*En meşhur fraktal yapı Mandelbrot kümesidir. İlk kez Fransız matematikçi Benoit Mandelbrot tarafından yaratılan bu küme, görelî olarak basit bir denklemle tanımlanmakta; ama hepsi de benzer yapılar içeren balonlar, dikenler, spiraller ve jetlerden oluşan karmaşık bir kolaj yaratmaktadır. Estetik cazibesinin matematikte bir rakibi daha yoktur; ama bu yapı ne anlama gelir?*

*Bu hâlâ açıklık kazanmamıştır. Araştırmacılar finans piyasalarındaki fraktal yapının basit kurallarla yönetildiği, dolayısıyla analiz etmenin (ve dolayısıyla belki de tahminler yürütmenin) sanıldandan daha kolay olabileceğini ileri sürmüştür. Fraktal yapıların doğal ve yapay sistemlerde, insan kültüründe –örneğin bilinen birçok müzikal örüntüde, Jackson Pollock'ın sanatında– her yerde bulunması Mandelbrot'yu, fraktal yapıların evrenin derin sırlarına açılan kapının anahtarı olduğunu iddia etmeye götürmüştür. Gelgelelim fraktaller üzerine yapılan çalışmalar gerçekten önemli diyebileceğimiz sonuçlar henüz doğurmamıştır.*

---

Kaos teorisinin ekoloji bilimi üzerinde muazzam bir etkisi olmuştur. Nüfusların iyi zamanlarda genişleyip kötü zamanlarda eridiği fikri her zaman biyolojik düşünme biçiminin güçlü bir parçası olmuştur; fakat kaos teorisinin yükselişi ve kelebek etkisi bir Evreka anı yarattı. Kaos çıkagelmeden önce, matematiksel bir eğilimi olan biyologlar ilgi duydukları durumlara yaklaşıklık gösteren denklemler yazıyorlardı. Örneğin bir kilometrekarelik bir alan içinde kaç sincabın yaşadığını, sincapların yiyecek kaynaklarının ne kadar zengin olduğunu, ne kadar sıklıkla ürediklerini ve topraklarını kaç yırtıcıyla paylaştıklarını betimliyorlardı.

Bütün bunlardan hareketle, sincap nüfusunun zaman içinde nasıl büyüyeceği ve azalacağı üzerinde çalışabiliyorlardı. Fakat denklemlerin kontrolden çıkıyormuş gibi görünen sonuçlar verdiği her seferinde matematiksel biyologlar sistemde dizginlenmesi gereken bir istikrarsızlık olduğunu varsayarak senaryoyu “yeniden başa alıyorlardı.” Kaos teorisinin ilerlemesiyle birlikte büyük değişimlerin, hayli kolay bir biçimde sistemin doğal bir parçası olabileceği açıklık kazandı.

Örneğin aralarında hiçbir yırtıcının bulunmadığı bir sincap nüfusu düşünün. Ortalama olarak her nesilde her yetişkin bir yavrudan az yavrularsa nüfus sifıra inecektir. Yavru sayısı bir ile üç arasında olursa bir istikrar sağlanır. Fakat her kuşakta ortalama yavru sayısı üçten fazla olursa işler tuhaflaşır.

Nüfus istatistiklerinde bir “patlama-düşme” eğilimi belirir. Esasen bu durum, daha önce bahsettiğimiz telefon hattındaki cızırdayan vakum tüpünün aynısıdır: Bir geri bildirim süreci şiddetli salınmalara sebep olur. Kaos kuramcıları buna “çatallanma” der. Bu, nüfusun her kuşakta yavru sayısına benzersiz derecede duyarlı olduğu anlamına gelir. Nüfus bir yıl patlayacak, ama ertesi yıl düşecektir. Arada bir nokta yoktur. Sonra çatallanma tekrar tekrar çatallanır ve nihayetinde işler rastgeleymiş gibi görünmeye başlar: Belirgin bir örüntü yoktur. Fakat bu ancak kısa bir süre devam eder: Zaman geçtikçe yavru sayısı yeniden artar ve hiç ortada yokken başka bir çatallanma beliriverir.

Bu karmaşıklık doğal dünyanın her yerinde vardır ve bunu anlamak hayatları kurtarabilir. Vurma ve ıskaama, yükselme ve alçalma, patlama ve düşme AIDS, kızamık ve çiçek gibi hastalık salgınlarında ortaya çıkar örneğin. Vaka sayısı kaotik bir yörünge izlediğinden, aşı programı gibi bir şeyin

yaratacağı darbeye duyarlıdır. Fakat bu darbe her zaman hastalığın kökünü kurutmaz; rakamlar istikrarsız bir düzene sürüklenebilir, örneğin bir çatallanma bölgesine. Bu durum hastalıkla ilgili kısa vadeli rakamların yükselebileceği anlamına gelir, aşı programı başarısız olmuştur. Kaosun bilincinde olmak tıp araştırmacılarının verilen ilk cevabın ötesini görmelerini, kaotik cevabın gelişmesine izin vermelerini, uzun vadede bir düşüş eğilimi olabilecek şeyin bir haritasını çıkarmalarını sağlar.

Biyolojik kaosun ve kelebek etkisinin anlaşılması hayatları daha hızlı bir biçimde de kurtarmaktadır. Kalbiniz hücreler arasında bir tür dalga gibi işleyen, kasın belli biçimlerde ve belli zamanlarda kasılmasına yol açan koordine elektrik akımları sayesinde atar. Bu akımlar bozulduğunda bir “aritmî” ortaya çıkar. Kalp aritmileri her yıl yüzbinlerce kişinin ölümüne yol açmaktadır: Kalp birçok sebepten dolayı normal bir biçimde çarpmaya, hatta çarpmaya son verebilir. Genelde kalp kaslarının hepsi rastgele kasılmaktadır ve kalp artık bir pompa değil, durmadan hareket eden, seğirip duran bir doku yığındır. Kaotik bir sistemdir; iyi bir vuruşun kaosa son verebileceği bir sistem.

Tıpçılar bir elektrik akımının bu sorunu düzeltebileceğini uzun zamandır biliyorlar; fakat öyle herhangi bir fişi insan kalbine takamazsınız. Ritmi düzeltmek ritmin kaotik dinamiklerini anlamayı gerektirir. Kalp aslında sarkaca benzer, salınan bir aygıttır. Kaotik bir sarkacın nasıl kontrol edileceğini bilerseniz deneme-yanılma yoluyla tasarlanmış olanlardan çok çok daha iyi çalışan bir defibrilatör tasarlayabilirsiniz. Fakat kelebek etkisinin işe sürüldüğü başlıca alan tam da başladığı alan olmuştur: Hava tahmini.

### Öngörülebilir Derecede Öngörülemez

Meteorologlar, Dünya'nın hava sistemlerinin son derece karmaşık simülasyonlarını dev süper bilgisayarlarda işletmeyi severler. Simülasyonlar fizik kanunlarına dayanır; okyanus ve hava akımlarının dünya etrafında hareket etme biçimi gibi şeylerin modelini çıkarır. Kelebek dönemi öncesinde, uygun derecede güçlü bir simülasyonun hava durumunu haftalar, aylar, belki yıllar önce tahmin edeceğini düşünebilirdik. Kaos bize bunun mümkün olmadığını söyler.

Sorun şudur ki modellerin fiziği yaklaşıktır ve simülasyonu kurmak için kullanılan veriler çok daha yaklaşıktır. Bilgi toplamak için kullanılan meteoroloji istasyonları Dünya'nın her yerine yayılmıştır, aralarında büyük mesafeler vardır; meteoroloji istasyonları arasındaki yerlerin bilgisine de sahip değiliz. Bilim insanları artık, birkaç gün içinde bu hata kaynaklarının hava durumu modellerini aslında havada olup bitenlerle hiç ilgisi olmayan bir yola sokmaya yeteceğini biliyor. Meteoroloji istasyonları arasında kanatlarını çırpıp bir kelebek hiç kimsenin geleceğini görmediği bir fırtınaya sebep olabilir.

Elbette ki meteorologlar her yeni veri girişinde modellerini baştan başlatırlar. Ayrıca “toplular” tahminler yürütürler; birbirinden çok az farkı olan ilk koşulları modele yükleyip çıktının ne kadar değiştiğine bakarlar. Bu durum herhangi bir tahminden çok daha geçerli olması muhtemel ortalama bir tahmin hazırlamalarını sağlar. Aynı zamanda tahminlerinin bir ölçüde güvenilir olmasını mümkün kılar. Bir tahminde bulunmak yeterli değildir; bu tahmine ne kadar güveneceğinize dair bir fikrinizin olması da iyidir.

İroniktir, en uzun vadeli tahminlerin sonucu gayet olumlu olmuştur; iklim tahmini bilimi ilk koşullara kısa vadeli hava durumu tahminleri kadar duyarlı değildir. Bunun sebebi esasen iklim tahminlerinin özel durumlardan çok, genelliklerle uğraşmasıdır. Bir kelebeğin kanatlarını çırpması Texas'ta bir fırtınaya yol açabilir; ama bir başka kanat çırpma patlamakta olan bir fırtınayı

yatıştırabilir. Bir iklim analizini oluşturan ortalama otuz yıl boyunca, fırtınaların sayısı eşitlenebilir; kelebeklerin her biri de ilgisiz hale gelir.

Lorenz bunu göstermek için kaos kuramının denklemlerini kullanmıştı. Garip çekiciye baktığınızda belli bir şekil görürsünüz. İklim bilimine uygulandığında, gördüğünüz şekil gelecekteki iklimi gösterir. Ortalıkta tahmin edilemez bir biçimde dolaşan, yavaş yavaş şekli yaratan akış halindeki çizgi, sinyalin sesi gibidir: Bir ilgi parametresi değildir. Bu da kısa vadede tahminleri ne kadar kaotik olsa da iklim simülasyonları yürütmenin yaklaşmakta olan şeye dair geniş kapsamlı güvenilir bir tablo ortaya koyduğu anlamına gelir. Peki, o halde kaos kuramı felaket tellallığı mı yapmaktadır? Tam tersi: Kanatlarını çırpan o kelebek, insanlığın karşı karşıya olduğu en büyük tehdide karşı bizi uyarmada araç vazifesi görmüştür: O tehdit insan faaliyetleriyle kontrolden çıkmış iklim değişikliğidir. Kaos her zaman bir sorun değildir.

# IŞIK NEDİR?

*Tuhaf bir dalga ve daha da tuhaf bir parçacık*

*“Şiir nedir? Neden efendim, şiirin ne olmadığını söylemek çok daha kolaydır? Hepimiz ışığın ne olduğunu biliyoruz, ama ne olduğunu anlatmak kolay değil.” Samuel Johnson, bu sözlerin şiiri tanımlamanın güçlüklerini haklı çıkararak ikna edici bir açıklama olduğunu düşünüyordu. Maalesef ışığın ne olduğunu hepimizin bildiği fikrinde temel bir kusur vardır. Bilip bilmediğimiz belli değildir.*

Johnson 18. yüzyıl İngiltere’inde bu sözleri kaleme aldığı anda, Isaac Newton’ın ışığı enerji parçacıkları ya da “hücreleri” olarak gören bakış açısı hüküm sürüyordu. Johnson’ın ölümünü izleyen 20 yıl içinde Thomas Young ışığın bir parçacık değil dalga olduğunu kanıtladı. Bir yüzyıl sonra Albert Einstein, ışığın parçacıklardan oluştuğunu bir kez daha gösterdi. Şimdi ışığı hem parçacık hem dalga ya da ne parçacık ne dalga olarak düşünmemiz gerekiyor. Anlamayı ve vahiy edilmeyi ifade etmek için kullanılan evrensel bir metafor olan ışık şaşırtıcı derecede mattır.

Işık hakkında kesin olan bir şey vardır: O da ışığın varoluşumuz açısından temel önemde olduğudur. Güneşten gelen ışık olmasaydı bitkiler enerji toplayıp büyümek için fotosentezi kullanamazlardı, bizim de yiyecek bir şeyimiz olmazdı. Işıktan yoksun olan insanlar depresyondan mustarip olur. Fareleri altı hafta boyunca karanlıkta tutan araştırmacılar ışık eksikliği yüzünden hayvanların beyin hücrelerinin ölüp gitmesini izlemiştir. Doğrudan güneş ışığından yeterince yararlanmamak raşitizm gibi kemik sorunlarına yol açmaktadır. Işık her neyse, ona ihtiyacımız var.

Bu durum antik medeniyetler tarafından da kabul edilmiştir. Stonehenge’deki Neolitik anıt öyle görünüyor ki ışık veren güneş adına inşa edilmiş bir tapınaktır. Mısırlılar hayat verdiğini düşündükleri güneş tanrısı Ra’ya tapıyorlardı. Gerçi ışığın bir tanımını yapma girişiminde bulunan ilk halk olan antik Yunanlılar Mısırlılardan biraz daha temkinlilerdi: Onlara göre ışık saygı gösterilecek bir şey değil, evreni oluşturan dört temel elementten biri olan ateşin bir yan ürünüydü.

Yunanlıların ışığın doğası ve görmekle ilgili çeşitli görüşleri vardı. Öklid’in görüşü en gelişmiş görüştü. Öklid bir nesneden gelen ışığın gözün ışığıyla karıştığını söylüyordu; ama insan bir nesneyi gözün ateşi doğrudan nesneden yansıdığı anda görüyordu. Gelgelelim bu görüş modern bilimsel görüşe, sırf ışığın düz hatlar üzerinde yol aldığını söylediği için yakındır. Birinin çıkıp da ışıkla ilgili anlayışımızı ileriye götürme girişiminde bulunması için yaklaşık 2000 yıl beklememiz gerekecekti. Bu ilerlemenin tetiğini 17. yüzyılda Fransız René Descartes çekmişti.

Dalgalardan Parçacıklara,

Parçacıklardan Dalgalara

Descartes’in katkısı uzun süreli olmamıştır. Descartes uzayın “plenum” dediği görünmez bir sıvıyla dolu olduğunu düşünüyordu. Plenumun “hareket eğiliminde” olduğunu söylüyordu; öyle ki bir mum plenumda, tıpkı bir davulun havada ses dalgaları yaratmasına benzer bir biçimde basınç yaratıyordu. Bu basınç göz yuvarına geçiyor, ışık olarak tezahür ediyordu. Isaac Newton bu fikir üzerine düşünmeye başlar başlamaz onu çürütmeye başladı.

Newton, ışık yalnızca plenumun göz üzerinde yarattığı basınçsa karanlık bir gecede koşmaya

başlamanın dünyayı ışıqla doldurması gerektiğini savunuyordu. Newton, o sıralar doğmakta olan atom fikrinin, yani en küçük ölçekte her şeyin kendini oluşturan parçalara bölünebileceği fikrinin büyük hayranlarından biriydi. Bundan hiçbir şekilde farklı olmaması gerektiğini düşündüğü ışığın “hürecik” dediği atomik elementlerden oluştuğunu ileri sürüyordu.

Hürecik teorisi 150 yıl boyunca hüküm sürdü, fakat kolay ilerlemedi. Newton’ın büyük rakibi Robert Hooke, rakip bir dalga kuramı yaratmıştı (bu dönemdeki dalga kuramları ışığın içinde titreşimler yarattığı bir “eterin” varlığını varsaymışlardır); Hollandalı matematikçi ve gökbilimci Christian Huygens’in de bir dalga kuramı vardı. Her iki fikir de deneylerde uygunluk sınavını geçti. Hüreciklere yapışkan güçlerini veren sırf Newton’ın şöhreti oldu. Ardından 1803’te Thomas Young ışığın doğasının dalga olduğunu kesinlikle gösterdi.

Young’ın kanıtlaması, iki su dalgasının etkileşiminin öngörülebilir geometrik örüntüler yaratması gerçeğine dayanıyordu (bkz. *Schrödinger’in Kedisine Ne Oldu?*). Dalgaların tepe noktaları birleştiğinde “yapıcı bir karışım” oluşuyordu: Dalgaların boyutunun iki katı boyutunda bir dalga. İki dip nokta birleştiğinde, “yıkıcı karışım” dip noktanın iki katı derin olmasına yol açıyordu. Bir tepe nokta bir dip noktayla birleştiğinde sonuçta su dümdüz oluyordu. Su dalgalarının hızı ve hangi yönde yol aldıkları, en başta nasıl ayrıldıkları bilindiğinde suda oluşan dalga örüntülerini tahmin etmek mümkün oluyordu. Işık bir dalgaysa çifte kesikten geçtiğinde aynı olgunun ortaya çıkması gerekir. Birbiriyle etkileşim içindeki iki ışık dalgasının bir “karışım örüntüsü” oluşturması gerekir.

## Esirle Karışmak

Young’ın artık lise fen laboratuvarlarının başlıca köşetaşlarından biri haline gelmiş olan çifte kesik deneyi bunu gayet güzel bir biçimde işlemişti. Deney, hürecik teorisini hemencecik öldürmüştü: Işık sorgusuz sualsiz dalgaya benziyordu. Geriye bir tek soru kalmıştı: Işık bir dalgaysa dalga neyin içinde hareket eder? Buna verilen ilk cevap Descartes’in plenumuna benziyordu: Esir; uzayı ve zamanı dolduran bu hayali madde elektrik, ışık ve manyetizmanın içinde hareket ettiği ortamı oluşturuyordu. Gelgelelim 19. yüzyılın sonlarında gerçekleştirilen bir deney esirin var olmadığını gösterdi, en azından ışığın aktarımını mümkün kılacak bir şekilde var olmadığını.

1887’de Albert Michelson ile Edward Morley esirin mevcut olduğunu göstermeye soyundu. İnterferometre (girişim ölçer) deneyleri ışığın çeşitli yönlerdeki hızını ölçecek olan dönen bir masadan oluşuyordu. Deneyin arkasındaki fikir şuydu: “Esir rüzgârı” estiğinde, ışığın farklı yönlerde farklı hızlarda hareket etmesi gerekecekti. Bu farklılık interferometrede kendisini gösterecek, karışım örüntüsünü değiştirecekti.

Deneyde esir tespit edilemedi; dönemin fizikçilerini şaşkınlığa uğratan bir gerçek olmuştu bu. Işığın bir boşlukta yol alabildiği, bu bakımdan temelde sesten farklı olduğu açık olsa bile, hâlâ bir şeyin içinde yol alması gerektiği varsayılıyordu. Işık dalga özellikleri gösteriyordu; ama içinde hareket edebileceği esir yoksa ışık insanların daha önce karşılaşmış olduğu cinsten bir dalga değildi. Açıklanamayacak bir muammaya varmış bulunuyorduk. Evet, ışık bir dalgaydı. Ama başka dalgalara benzemiyordu. Fiziğin en iyi kafalarının bazılarıysa ışığın dalga olmadığına ısrar ediyordu.

## Hürecik Dizginleri Yeniden Eline Alır

Herhalde Richard Feynman, bunu en güçlü biçimde ortaya koyan isim olmuştur. Öğrencilerine bir keresinde “Işığın bu biçimde, parçacık olarak geldiğini vurgulamak istiyorum,” demişti. “Işığın

parçacık olarak davrandığını bilmek çok önemlidir, özellikle de okula gitmiş olanlarınız açısından, okulda muhtemelen size ışığın dalga gibi davrandığını anlatmışlardır. Size ışığın parçacık gibi davrandığını söylüyorum.”

<>



“Muhtemelen size ışığın dalga gibi davrandığını anlatmışlardır.

Size ışığın parçacık gibi davrandığını söylüyorum.”

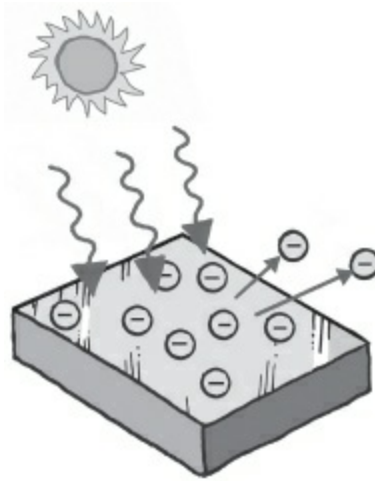
**RICHARD FEYNMAN**



Feynman'ın ısrarı ışığı dalga olarak resmetmekten sizi alıkoyamıyorsa şunu bir düşünün: Albert Einstein ışığın parçacık biçiminde geldiğini kanıtlamıştı. Bunu kanıtladığı, 1905'te yayınlanmış olan deneyi "fotoelektrik efekti" adını taşıyordu ve deneyin fiziği, solar gücün işleyişinin ardındaki fizikti. Bir metalin yüzeyine çarpan ışığın, metalden elektron salınmasına yol açacağı bir süredir bilinmekteydi. Gelgelelim ışığın frekansı yüksek frekansa, ışık tayfinin mor ötesi ucuna doğru ilerlerken, salınan elektronların akışının neden artıyormuş gibi görüldüğünü kimse anlamamıştır. Maxwell'in elektromanyetik kuramının buyurduğu üzere sağduyu, elektrik akımının ışığın frekansı ile değil, yoğunluğuyla artması gerektiğini söyler.

Einstein bu muammayı foton kavramıyla çözmüştü: Foton, kuantum ışık parçacığı olan bir enerji paketidir. Einstein'ın tahminine göre, metalin saldığı elektronların sayısı fotonun enerjisine dayanacaktır; fotonun enerjisi ışık "dalgasının" frekansı ile orantılıdır. Ancak belli bir asgari düzeyde enerjiye sahip fotonlar bir elektronu serbest bırakabilir. Bu eşiğin üstünde kalan bir enerjiyle metale çarpan fotonlar bir elektronu serbest bırakmakla kalmayacak, kendi fazladan enerjilerini de elektrona aktaracaklardır. Salınan elektronların kinetik enerjisinin ölçüldüğü deneyler durumun böyle olduğunu göstermiş, Einstein da 1921 Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmıştır.

20. yüzyılın en büyük fizikçisinin, genel ve özel görelilik kuramlarının yaratıcısının Nobel Ödülü'nü fotonun keşfi yüzünden almış olması herhalde talihsizliktir. Nobel Ödülü'ne ve Feynman'ın ısrarlarına rağmen ışığın parçacıklardan oluştuğu fikri fiziğin en sallantılı kavrayışlarından biri olmayı sürdürmüştür. Elektronlar ya da protonların parçacık olduğunu düşündüğümüz gibi fotonların da parçacık olduğunu düşünmek kolaydır. Fakat fotonlar parçacığa o kadar benzemez. Örneğin kütleleri yoktur.



FOTOLEKTRİK ETKİSİ

Meşhur Bell Laboratuvarları'nda ışıltılı kariyeri sırasında birçok önemli keşif yapmış olan fizikçi Willis Lamb "foton" kelimesinin fizikten silinmesi gerektiğini iddia edecek kadar ileri gitmişti. En iyi ihtimalle bu kelimenin izne tabi olması gerektiğini söylüyordu; bu izni de ışığın dalga olarak resmedilmesinden uzaklaşılması için gerçek bir ihtiyaç olduğunu hissettiği durumlarda Lamb verecekti.

Parmağımızı ışığın doğasıyla ilgili temel noktalara pek fazla değdiremiyorsak da ışığın evrenle ilgili tanımlarımızda işgal ettiği asli rolle ilgili olarak söyleyebilecek hâlâ çok şeyimiz vardır. Hepsinden de önemlisi ışığın kozmosta en hızlı hareket eden şey olduğudur. Fizikçilerin, ışığın sonsuz derecede hızlı yol aldığına inandığı bir dönem olmuştur; uzak yıldızların ya da gezegenlerin ışığı bakışlarımızı göğe kaldırdığımız anda gözlerimize doluyordu. 17. yüzyılın sonuna gelindiğinde bu fikir ölüp gitti; deneyler sonlu bir ışık hızının, Jüpiter'in en içteki uydusu Io'nun düzensiz bir yörüngeye sahip olması gibi anormallikleri açıklayabileceğini gösteriyordu. Gelgelelim hiçbir şeyin ışıktan hızlı yol alamayacağı fikri, ilk başta, durup dururken ortaya atılmış gibi görünüyordu.

Bu fikir Maxwell'in elektromanyetik fenomeni tanımlayan denklemlerine ilişkin değerlendirmelerden doğmuştur. Bir elektrik yükünün –elektriğin– hareketinin yakınlarında bir manyetik alanın oluşmasına yol açtığını biliriz. Aynı manyetik alan büyüdükçe elektrik üretir. Ve böylece döngü tekrarlanır. Maxwell bu durumun, bir dalganın dalgalanan yoğunluğuyla hareket eden bir şeyden kaynaklandığını ve ileriye doğru hareket etme hızını hesaplayabileceğini bulmuştu. Gayet iyi bilinen bir değerdi bu; astronomların tutulmaların zamanını ve gezegenler ile uyduların yörüngelerini ölçerek ışık hızı olarak bulduğu değerin aynısıydı. Dolayısıyla Maxwell ışığın elektromanyetik bir fenomen olması gerektiği yönünde akıl yürüttü.

Fizikçiler elektromanyetik fenomenlerin tamamının iyi huylu olmadığını takdir edinceye kadar bütün bunlar gayet iyi gitti. Size göre hareket etmekte olan bir şeyin saldıdığı ışınımı analiz edin, Maxwell'in denklemlerine tam olarak uymadığını göreceksiniz. Einstein radikal bir adım atarak bu durumu düzeltmişti. Fizik kanunlarının hareket eden herkes açısından aynı olması gerektiğini varsayarak yeni bir kanun yapmıştı: Işık hızı her zaman sabittir ve hiçbir şey ışıktan hızlı hareket edemez.

### Işık Hızını Sabitlemek

Bir arabanın farları yanınızdan geçtiğinde, yaydıkları ışık arabanın hareketiyle hızlanmaz. Dahası araba yavaşlarsa ışık yavaşlamaz. Işık her zaman saniyede 300 milyon metrenin biraz altında yol almaktadır. Einstein'ın özel görelilik kuramının özünü oluşturan, sezgilere ters düşen bu kavrayış muazzam derecede tuhaf sonuçlara yol açmaktadır (bkz. *Zaman Nedir?*). Fakat doğru olduğu sayılamayacak kadar çok deneyde gösterilmiştir. Einstein'ın görelilik kuramına göre, ışık hızına ne kadar yaklaşırsanız daha fazla ivme kazanmanız o kadar zorlaşır.

Bu etki, evrende düzeni yeniden tesis eder; ışınım salan şeyle ışınım tespit eden şey arasında görelilik hareket ne kadar fazla olursa olsun, Maxwell'in denklemlerinin herhangi bir durumu betimlemesini mümkün kılar. İşleri bu zamana getirecek olursak elimizde artık Maxwell'in çalışmasının, kuantum elektrodinamiği olarak bilinen kuantum versiyonu bulunmaktadır; kuantum elektrodinamiği ışığın davranışını mükemmel bir biçimde betimlemektedir. Işık her ne olursa olsun, onun, koşullara bağlı olmaksızın sabit bir hızla hareket ettiğinin fark edilmesi, kozmosun geçmişi, şimdisi ve geleceğinin haritasını çıkarmamızı sağlamıştır.

Uzak bir yıldızdan gelen ışığı gördüğümüzde, ışığın uzayda olduğu kadar zamanda da hareket ettiğini biliriz. Güneşi her zaman sekiz dakika önceki haliyle görürüz; başka yıldızların ışığı bakışımızı geçmişin çok daha derinlerine götürür. Dahası yıldızları, ne kadar uzakta olduklarını bilerek gelişimlerinin çeşitli aşamalarında gördüğümüz için, bir yıldızın ömrü süresince neler olacağını söyleyebiliriz; bu bilgiyi gelecekte neler olacağını söylemek için kullanabiliriz. Örneğin güneşimizin izleyeceği yol artık gayet iyi anlaşılmıştır; Güneş'imizin ölmeye başlamasına 5 milyar yıl

vardır; bu süreçte Güneş “kırmızı bir dev”e dönüşecek, Dünya dahil gezegenlerin çoğunu yutacaktır.

## Gizemli Bir Güç

Işığı daha derinden kavramamızdan doğan bir başka büyük uygulama, 20. yüzyılı herhalde en iyi tanımlayan teknolojidir: Lazer. CD oynatıcıların, süpermarket kasa tarayıcılarının, yüksek hızlı optik telefon kablolarının ve düzeltici göz cerrahisinin devrinde, lazeri icat edenlerin lazerin ne için kullanılabileceğini bilmediklerine inanmak zordur.

Lazer bir kısaltmadır; Stimüle Edilmiş Işınım Salımıyla Işık Güçlenmesi (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation/LASER) terimine karşılık gelir. Standart bir ampulün, hatta Güneş’in ışığı bile, tek tek ışık salan atomlardan gelir. Lazerin ardındaki prensip atomlardan oluşan bir gaz enerji vermek, sonra enerjiyi kontrollü bir biçimde serbest bırakmaktır: Atışlar “tutarlıdır”; bu demektir ki yoğun, güçlü bir huzme çıkarmak için bir araya kenetlenirler.

Bu duruma, atomlara bir miktar elektrik verip elektronlarından birini yüksek enerji durumuna taşıyarak ulaşılabilir. İkinci bir elektrik akımı bu elektronu aşağı indirecektir. Elektron düşerken bir ışık fotonu salar ve böylece zincirleme bir reaksiyonu başlatır. Fotonların her biri bir diğerini yüksek enerji durumundan çıkarır ve gazın içindeki başka atomları daha fazla foton salma yönünde harekete geçirir. Sonuçta lazer ışını ortaya çıkar.

---

## *IŞIKTAN DAHA HIZLI GİDEBİLİRSİNİZ*

*Işık hızında hareket etme fikri 1999’da Lene Hau, ışığı yavaşlatıp hızını hareket etmekte olan bir bisikletin hızına getirdiğinde yeni bir dönemeç aldı. Bu, iki lazerin kullanılmasıyla mümkün olmuştu: Lazerlerden biri bazı sodyum atomlarını “hazırlayacak” bir ışık huzmesi, diğeri ise “yavaşlayacak” bir ışık huzmesi salıyordu. “Hazırlayıcı” ışık huzmesinin enerjisi, sodyum atomlarının “yavaşlayan ışık huzmesini” yutmamalarını sağlayacak bir değere ayarlanmıştı. Bu da normalde yutulacak olan huzmenin atom bulutları arasından yol alması anlamına geliyordu.*

*Fakat ışık huzmesi yol alırken enerjisinin bir bölümünü sodyum atomlarına verir. Bu atomlar enerjiyi bir an tutar; sonra salıp yol almakta olan huzmenin içine bırakırlar yine. Sonuç biraz bir trenin ön vagonlarını çıkarıp arkaya yeniden takmaya benzer. Vagonlar normal hızda yol alıyor olsalar da bir bütün olarak trenin ilerlemesi bozulur.*

*Dolayısıyla ışık hızı azaltılmış olsa da aslında bu bir el oyunudur. İki yıl sonra Hau bir adım daha atıp ışığı izlediği yollarda durdurarak dünyayı şaşırttı. Bunu yapabilmek için atomların kuantum hali, enerjiyi gerektiği kadar uzun süre tutabilecekleri noktaya kadar değiştirildi. Hau, ışığı atomları bu halden çıkararak serbest bıraktı.*

---

Lazerlerin ardındaki mekanizmayı, foton yaklaşımını kullanarak açıklamak çok kolaydır; fakat ışının gücü dalga tanımına daha uygundur. Dalgaların, örneğin su dalgalarının “fazda” karşılaştıklarında, yani zirve noktalarının birleşmeleri halinde çoğaldığını biliyoruz. Sonuçta muazzam derecede güçlü bir dalga ortaya çıkar ki esasen lazer ışını da böyle bir dalgaya benzemektedir.

Lazeri bu kadar yararlı kılan sadece gücü değildir. Fotonların birbirine kilitlemesiyle birlikte

ışığın bu kadar sıkı bir biçimde kontrol ediliyor olması, lazeri Ay'ın ne kadar uzakta olduğunu bulmaktan tutun atomun sırlarını araştırmaya kadar çok çeşitli biçimlerde kullanılan büyük bir bilimsel araç haline getirir. Buradan türeyen uygulamalar, örneğin barkotların taranması, CD'lerdeki bilgilerin okunması, modern telekomünikasyon sanayinin mümkün hale gelmesi, lazer pastasının üzerindeki kremadır sadece.

Gelgelelim lazer hakkında hiçbir şey ışığın bir dalga mı yoksa bir parçacık mı olduğuyla ilgili tartışmayı çözüme kavuşturmaz. Işığın bize evren hakkında söylediklerini yorumlayabilme ve onun gücünü etrafımızdaki dünyayı değiştirmek için kullanma becerimize rağmen, ışığın doğası ele geçmezliğini korumaktadır. Thomas Young artık çifte kesik deneyini –ışığın dalga olduğunu kanıtlayan deney– taklit edebildiğimizi ve düzeneği, ışığın bir parçacığın doğasına sahip olduğu açıklamasını yaşayabilir tek açıklama kılacak şekilde uyarlayabildiğimizi görseydi hayrete kapılırdı. Işığı bir dalga olarak gören bakış açısıyla bir parçacık olarak gören bakış açısını birbirine bağlamanın iyi bir yolunu bilmiyoruz hâlâ. Bu muamma, kuantum kuramının kalbinde yatmakta ve gizemini korumaktadır (bkz. *Schrödinger'in Kedisine Ne Oldu?*). Işık nedir? Bir dalçacık.

# SİCİM KURAMI GERÇEKTEN DE

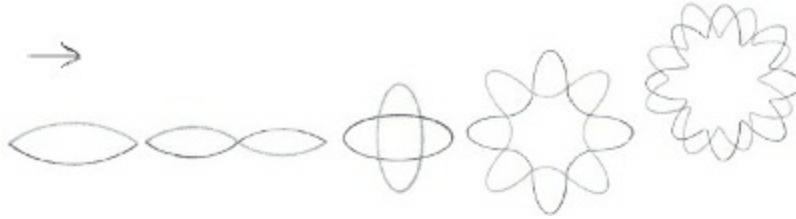
# SİCİMLER HAKKINDA MIDIR?

*Evrenimizi yaratan titreşimler*

*Eh, hayır. Sicim kuramı aslında bir araya gelmiş esnek enerji bantlarının oluşturduğu elastiki ilmeklerden kurulu bir evrenden bahseder. Fakat en azından bir fizikçinin ortaya koyduğu üzere, lastik bant kuramı gibi bir isim kulağa biraz hafif gelmektedir; nihayet evreni anlama konusunda en büyük umudumuz olan bir kuramın da bir parça ağırlık taşıması yerinde görünmektedir.*

Sicim kuramı yeni, ultramodern bir fikir olarak reklam edilmiş olabilir; fakat öyle değildir. İlk kez 1968'de savaş sonrası dönemde parçacık fiziğine yakayı kaptırmamızın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Atom çekirdeğini ancak 1911'de keşfettik. Atomu bölmeyi 1938'de öğrendik, bunu izleyen 20 yıl içinde de nükleer fizik hakkında öğrenilmesi gereken ne varsa öğrenmiş bulunuyorduk. Bundan 10 yıl sonra, bu yeni ufukları evrenin tamamını kapsayacak şekilde genişletme yönünde cüretkâr bir girişim olan sicim kuramı doğdu.

Doğdu; çünkü Gabriele Veneziano adında bir İtalyan fizikçisi gençliğini protonları yüksek enerjilerde ezen deneylerin sonuçları üzerine kafa yorarak geçirmişti. Nihayetinde Veneziano bu verilerde bir örüntü görmeye başlamıştı: İki protonun çarpışması, enkaz alanından belli türde parçacıkların tahmin edilebilir açılarla fırlatılmasına yol açıyordu. Bu çarpışmaların ilk ürünleri kuarklar, protonları oluşturan parçacıklardı. Gelgelelim kuarklar bu çarpışmanın hemen ardından birleşerek farklı türde parçacıklar oluşturuyorlardı. Bu parçacıkların çoğu istikrarsız ve kısa ömürlüydü. Veneziano fizikçilerin dikkatini bu parçacıkların oluşumunun öngörülebilirliğine çektiğinde, aralarından birkaç fizikçi parçaları bir araya getirip bir açıklama oluşturmaya çalıştı. Bu fizikçiler, parçacıkların minicik madde noktaları olduğu fikrini unutup onları değişik uzunluklarda sicimler olarak resmettiğinizde, sonuçların anlamlı geldiğini söylüyorlardı. Parçacıkların taşıdığı enerji titreşmelerine yol açıyordu; parçacıklar enerji kazanıp kaybederken bu sicimler de uzayıp kısalıyordu. Titreşen sicimler çarpıştığında, sonuçta ortaya çıkan titreşim yelpazesi, farklı türde atomaltı parçacıklar olarak yorumladığımız şeylerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Şimdi etkileyici görünüyor; ama o zamanlar kimse bunu hemen galip gelecek bir “her şeyin kuramı” gibi görüvermemişti. Aslına bakarsanız, sicim kuramını ortaya atanlardan birinin makalesi biraz önemsiz olduğu gerekçesiyle reddedilmişti. Fakat o zamanlar makalede önemli sorunlar vardı.



## Sorunların Büyümesi

Doğada parçacıklar (kabaca) iki ayrı türe ayrılabilir. Örneğin foton kuvvet aktarır, helyum atomunun çekirdeği, elektron ya da kuark maddeyi oluşturur. Maddeyi oluşturan parçacıklara “fermion” denir. “Bozonlar” ise kuvvet aktaran parçacıklardır. Sicim kuramı bozonlar açısından kuralları koyuyordu, fakat fermiyonların varlığı ya da davranışları hakkında söyleyecek bir şeyi yoktu. Fermiyonlar maddenin temel bileşenlerini açıkladığından, bu büyük bir kusurdu. Fakat tek



kusur da değildi.

Fizikçiler sicim kuramını ciddiye alacaklarsa kuramı 20. yüzyılda fiziğin iki temel direğiyle, kuantum kuramı ve görelilik kuramıyla tutarlı hale getirmeleri gerekiyordu. Sicim kuramcılarının bunu halledebilmelerinin tek yolu 25 uzay boyutu içeren bir evren hayal etmek, bir yandan da hiçbir zaman durdurulamayacak parçacıkların ve ışıktan daha hızlı hareket eden parçacıkların varlığını kabul etmek oldu.

Bunların hepsini bir anda yutmak zordu, birkaç yıl boyunca sicim kuramı ihmal edilmiş bir halde, hiç kullanılmadan kaldı. Sicim kuramının nükleer fiziğin güçlü etkileşimi olarak bilinen, kuarkları bir araya getirip proton ve nötron oluşturmaları sağlayan kuvveti açıklamamanın bir aracı olmayı amaçlamasının da bir faydası olmadı. Sicim kuramı atıl bir halde bir kenarda dururken bugün “standart parçacık fiziği modeli” olarak bilinen şey ortaya çıktı. Standart model atomaltı parçacıklar hakkında bildiğimiz her şeyi birbirine bağlayıp düzgün bir paket haline getiriyordu. Sicim kuramı, biraz aptalca değilse bile fazlasıyla eksik görünüyordu.

Peki, nasıl oldu da sicim kuramı fizikçilerin dualarına bir cevap haline geldi? Ağır işin büyük bir bölümü 1970’te Pierre Ramond adında Fransız bir fizikçi tarafından gerçekleştirildi. Ramon fermiyonlara yol açan sicim titreşimlerini buldu. Bunun hediyesi, ışıktan hızlı parçacıklara duyulan ihtiyacın ortadan kalkması ve ihtiyaç duyulan fazladan boyut sayısının dokuzda inmesi oldu. Sicim kuramı artık “süpersicim kuramı” haline gelmişti ve çok şükür ki kuantum kuramı ve görelilikle de tutarlıydı. Halledilmesi gereken bir tek kusur bulunuyordu: Sicim kuramcılarının hareket etmeyi hiç kesmeyen bazı parçacıklar bulunduğu yolundaki iddiası.

Bu meselenin çözümünün, gerçekten de önemli bir çözüm olduğu anlaşıldı. Sicim kuramının hızla pırıltılı bir biçimde şöhret kazanmasının gerisinde kuramdaki durdurulamaz parçacıkların, fizikçilerin uzunca bir süredir temel bir kuram çerçevesinde yaratmayı umduğu parçacıklar olduğunun keşfedilmesi yatıyordu: bunlardan biri kuantum ışık parçacığı foton, diğeri ve en heyecan vericisi de kuantum kütleçekim parçacığı gravitondur.

## Kütleçekimin Geldiği Yer

Foton için kuramsal bir haklı çıkarma bulunmasına iyi bir haber dersek sicim kuramının gravitonla ilgili keşfinin fizikçilerin hayallerini süslediğini söyleyebiliriz. 1930’larda kuantum kuramının başlangıcından bu yana fizikçiler kütleçekim ile diğer kuvvetlerin nerede bulunduğunu bulmayı istemişti. Cevap, muhtemelen bu kuramda bulduklarıydı.

Doğadaki çeşitli kuvvetler –çekirdekte faaliyet gösteren güçlü ve zayıf kuvvetler ile yüklü parçacıklar arasında faaliyet gösteren elektromanyetik kuvvet– öyle görünüyor ki kütleçekim kuvvetinden farklı bir niteliğe sahiptir. Kütleçekim farklı kurallara göre işler. Örneğin elektromanyetizma çekip iterken kütleçekim yalnızca çeker. Nihayetinde fizikçiler bu benzersizliği açıklamayı amaçlıyorlardı. Ve öyle görünüyor ki sicim kuramı da bunu yapabiliyordu.

Sicim kuramında sicimlerin uçları bir parçacık ve onun karşı parçacığıyla, örneğin bir elektron ve bir pozitronla ilişkilidir. Sicimin titreşimi bu yüklü çift arasında faaliyet gösteren kuvveti taşır. Bir sicim ikiye bölünebilir ya da başka bir sicimle çarpışabilir. Bütün bunların sonucunda kapanıp bir ilmek oluşturan sicimler ortaya çıkar. Bu sicim ilmeğiyle ilişkilendirilen bir yük yoktur, yalnızca kütleçekim olarak bildiğimiz kuvvetin niteliklerine uygun düşen bir kuvvet vardır.

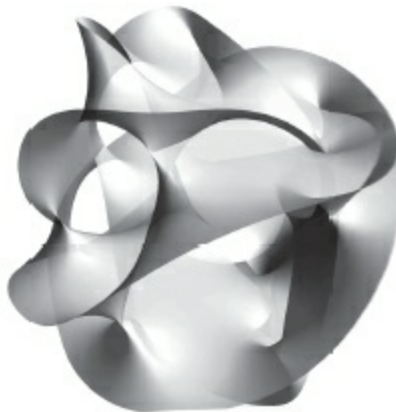
Sicim kuramının kütleçekimi barındırdığının fark edilmesi sayılamayacak kadar çok fizikçinin kafasında ampullerin yanmasına yol açtı. Bütün bu süre zarfında onlar sicim kuramına nükleer etkileşimleri betimleyecek bir araç olarak bakmışlardı, ama aslında ellerinde bir kuantum kütleçekim kuramı vardı; büyük bir birleşik kuram, her şeyin kuramı. Neredeyse bir gece içinde sicim kuramı fiziğin yeni büyük umudu haline geldi. Gelgelelim bu umut uzunca bir zamandır ertelenmiştir. Sicim kuramı Einstein'ın başladığı işi bitirmeye hazırmış gibi görüldüğünde yıl 1984'tü. Neredeyse 30 yıl önce. Peki, vaat edilmiş nihai kuram nerede? Öyle anlaşılıyor ki bu çok tartışmalı bir sorudur.

### Nihai Bir Kuram mı?

Nihai bir kurama ihtiyacımız olduğuna hiç kimsenin kuşkusu yoktur. Kuantum mekaniği ve görelilik arasında hiçbir tutarlılık yoktur; o kadar ki bu tutarsızlık saçma denilecek derecededir. Örneğin fizik kanunları, evrende farklı biçimlerde hareket etmekte olan kuantum parçacıkları açısından farklıdır. Durmakta olan bir elektrona getirilen kuantum tanımı, elektronun ışık hızına yakın bir hızla hareket ediyor olması halindeki tanımından farklıdır. Albert Einstein görelilik kuramını tam da bu tür sorunlardan kaçınmak için inşa etmiştir.

Görelilik, başka bir yönden bakılıp kuantum merceğinden izlendiğinde bir anlam ifade etmez. Örneğin kuantum hesaplamaları zamana ve mesafeye atıfta bulunmaksızın yapılabilir; fakat görelilik zaman veya uzaya ihtiyaç göstermeyen hiçbir şeyle uyum sağlayamaz. Olası kuvveti bakımından değerlendirildiğinde, sicim kuramı bütün bu sorunları aşabilir. Fakat henüz aşmamıştır; en azından bir kuram olarak ezici bir cazibeye ulaşacak derecede aşmamıştır. Yeni aşkın-kuram olarak baş tacı edilmeden önce, evrenin gerçekten de sicimlerden oluştuğunu söylememizden önce, kuramın kendi cinlerini fethetmesi gerekiyor. Bunların biri en başından beri bellidir. Üç boyutlu bir uzayda yaşıyoruz; fakat sicim kuramı görelilik ve kuantum kuramıyla tutarlı olabilmek için başta 25 boyuta ihtiyaç duymuştur. Boyut sayısı daha sonra sadece dokuz indirilmiştir, ama hâlâ hiç görülmemiş altı tane boyut vardır. Peki, bu boyutlar nerededir?

Buna verilecek kısa cevap, en azından bizim bakış açımıza göre fazladan boyutların sarılıp sarmalanıp çok küçük bir hale gelmiş, yani "sıkıştırılmış" olmasıdır. Uzaktan görülen bir su hortumunu düşünün. Aslında olduğu gibi üç boyutlu bir nesne gibi değil, tek boyutlu bir çizgi gibi görünür. Sicim kuramcıları fazladan boyutları da böyle düşünmemiz gerektiğini söylüyorlar. Oradadırlar; fakat bizim üç uzamsal boyutumuzu pek etkilemezler.



*CALABI-YAU UZAYI*

Bu öyle, meseleyi geçiştirmek için ortaya atılmış bir argüman değildir; matematiğe dayanarak ileri sürülmüştür: Fazladan boyutlar sarılıp altı boyutlu bir halka haline; yani Calabi-Yau uzayları olarak

bilinen, sayıları bir milyonu aşkın altı boyutlu şekillerden birine dönüştürülebilirler. Bu durum doğal olarak sicim kuramına çok büyük bir esneklik getirmektedir. Örneğin bu Calabi-Yau şekillerinden her biri, tam niteliğini belirleyen bir dizi değişkene sahiptir. Bu değişkenler sıkıştırılan boyutlara farklı nitelikler kazandıracak, görüşe açık olan boyutlar üzerinde de doğrudan etkili olacaklardır.

Bunun sonucu sicim kuramının tek bir evreni değil, her biri biraz farklı özelliklere sahip birçok evreni tanımlaması olmuştur. Dolayısıyla sicim kuramı her şekil ve boyutta birçok evren yaratır; sicim kuramının yararlılığıyla ilgili tartışmaların başladığı yer de tam burasıdır. Tartışma basittir: Bu olası dünyalar çoğulluğunu bir sorun olarak mı yoksa bir fırsat olarak mı göreceğiz?

## Herkes İçin Bir Evren

Sicim kuramını eleştirenler, kurama her şeyin kuramı yerine *hiçbir şeyin* kuramı derler. Bu kurama her şey uymaktadır: Biri çıkıp da olasılıklar arasından bizim evrenimizi seçmenin bir yolunu bulmadığı sürece, sicim kuramı evrenimizin doğasıyla ilgili olarak yanlışlanabilir tahminlerde bulunamaz. O halde bu kuramın gerçekten de hakiki bir bilimsel kuram olduğunu söyleyebilir miyiz? Birçok sicim kuramcısı bu eleştiriye hemen itiraz etmiştir. Sicim kuramı bize bu kadar çok evren veriyorsa bunun sebebi muhtemelen bu kadar çok evren *olmasıdır*.

Bu argümanda kesinlikle bir haklılık payı vardır. Modern kozmoloji bize evrenin Büyük Patlama sonrasında büyük ihtimalle hızlı bir “şişme” sürecinden geçtiğini söylemektedir. Basitçe ifade edecek olursak evren bir balon gibi şişmiş, boyutları 10 üssü 50 faktör artmıştır; yani 1000 milyar milyar milyar kere büyümüştür; üstelik de yalnızca saniyenin binde birinin bir bölümü içinde.

Kimse bunun neden böyle olması gerektiğini bilmemektedir; fakat kozmosun soru işareti yaratan bazı yönlerine getirilebilecek en iyi açıklama budur. Evren homojendir: Her yerde aynı görünmektedir. Bu tuhaftır; çünkü Büyük Patlama'nın evreni öbür türlü yapmış olması gerekirdi. Fakat bu gizem şişmeyle çözülmektedir: Ömrünün ilk evrelerinde hızlı bir genişleme sürecinden geçen evren homojen bir hal alacaktır.

Şişme ayrıca sicim kuramı için de yararlı bir destek olmuştur. Şişme bir kere olduysa bir daha olmaması için hiçbir sebep yoktur. Uzay-zamanın her parçası aynı kanunlara tabidir; dolayısıyla her parça, kuramsal olarak, bir balon evren üretebilir ve bu balon evren kopup uzaklaşana kadar büyüyebilir. Dolayısıyla her evrenden sayılamayacak kadar çok başka evren doğacak, bunlar şişip ayrılarak bağımsız bir varlık bulacaktır. Her birinin diğerlerinden biraz daha farklı özellikleri olacaktır. Başka bir deyişle fizik kanunları farklı olacaktır; örneğin kütleçekimin bulunmadığı bir evren olabilir ya da 17 farklı tür elektronun bulunduğu bir evren de olabilir. Bu bakış açısına göre evren aslında bir çok-evrendir: Olası her biçimi alan bir evrenler manzarasıdır. Bu evrenler içinde bir yerde bizim evrenimiz vardır.

Şunu söylemek gerekiyor: Bu fikri destekleyecek hiçbir deneysel kanıt yoktur, yalnızca tümdengelimci bir argüman vardır: Kendisini destekleyecek açık bir deneysel kanıt bulunmasa da şişmenin evrenimizin niteliklerine getirilebilecek en iyi açıklama olduğu, dolayısıyla tekrar tekrar uygulanabilir olduğu argümanı. Daha da beteri, yine hiçbir kanıt olmayabilir; en azından filozof Karl Popper'ın ileri sürdüğü bilimsel olarak yanlışlama koşulları bakımından.

Peki Bu Bilim Midir?

Bilimdeki standart fikir, hipotezler kurmanızı ve deneylerin bu hipotezleri yanlışlayıp yanlışlamayacağını görmenizi öngörür. Yanlışlama girişimleri karşısında dayanan hipotezler destek kazanır ve nihayetinde geliştirilip kuram haline getirilebilir. Sicim kuramının evrenler manzarası fikri bu koşullara dayanarak yanlışlanmamaktadır. Bir başka evrenle kıyaslandığında evrenimizin niteliklerine dair bir öngöründe bulunmanın bir yolu yoktur; diğer evrenler deneylerimize açık değildir.

Buradan bir hikmet çıkarmak mümkündür: Örneğin, evrenimizin genişlemesinin hız kazandığı yönündeki gözlemin büyük bir bölümünü sicim kuramcıları yapmıştır. Bunun neden böyle olması gerektiğine dair güzel bir açıklama yoktur, sicim kuramcıları da açıklamanın olmamasına, bir tür ters kanıtmiş gibi atlamışlardır: Belki de hiçbir açıklama yoktur, demişlerdir; belki de bu evrenimizin nasıl sadece bir olasılık olabileceğinin bir örneğidir. Başka evrenlerde fizik kanunları genişlemeyi sabit tutacak şekilde işlemektedir, bazılarındaysa genişlemenin hızı yavaşlamaktadır. Tek kanun çeşitliliğidir. Bunun, sicim kuramını, bilimin beyaz fiili haline getirip getirmediği fizikçiler arasında süregelen bir tartışma konusudur. Fakat şu an itibariyle ileriye gitmenin daha iyi bir yolunun bulunmadığı gerçeği de varlığını sürdürmektedir.

Her şeyin kuramını inşa etme yönünde başka girişimler de olmuştur. Herhalde bunların en gelişmiş, “loop (ilmek) kuantum kütleçekimi”dir (LQG / loop quantum gravity). Bu kuram, uzayın nihayetinde yaklaşık 10-35 metre boyutlarındaki bölünemez kuantalardan oluştuğunu ileri sürmektedir. Bu kuantum düğümleri arasındaki bir bağlantılar ağı –bir havayolları rota haritasını gözünüzün önüne getirin– içinde yaşadığımız uzay-zamanı oluşturmaktadır. Bir araya gelip aşına olduğumuz atomlar ve moleküller dünyasını yaratan parçacıklar, kuantum dalgalanmaları bu uzay-zaman içinde düğümler ve dolaşıklıklar oluşturduğunda yaratılır.

Yani fikir budur. LQG, kuantum kuramıyla göreliliği birleştirme problemine getirilmiş iyi tanımlanmış bir çözüm değildir henüz. Aslına bakarsanız, dünya çapında bu cevap üzerinde çalışan yaklaşık 100 araştırmacı vardır yalnızca. Bu da üzerinde binlerce kişinin çalıştığı sicim kuramının hâkimiyetini sürdürdüğü anlamına gelmektedir. Gerçi nihayetinde plan sicim kuramının yerine bir başka kuram geçirmektir: M–kuramı.

## Alta Yatan Şey

Biraz şaşırtıcıdır, M’nin ne anlama geldiğinden kimse emin değildir. Gelgelelim kökeninde ne olursa olsun, M–kuramının M’si membranlarla ilişkilendirilmiştir. Sicim kuramcıları matematiğin işlemlerini sağlamak için kuramdaki 11 boyutun sicimlerin yanı sıra membran denilen yüzeylerle dolu olduğunu koyutlamışlardır. Bu membranlar en fazla dokuz boyuta sahip olabilirler.

Bu membranlar sıkıştırılmış boyutları sarmalayarak, dolanan sicimler için bir bağlanma noktası sağlayarak ve var olabilecek yeni evren tiplerini mümkün kılarak sicim kuramının zenginliğine katkıda bulunmuş olsalar da oynadıkları en meşhur rol, sicim kuramına göre Büyük Patlama öncesinde ne olduğunu tesis etmiş olmaları olabilir. Sicim kuramına göre, evrenimiz iki tane dört boyutlu membranın çarpışması sonrasında ortaya çıkmıştır. Çarpışan membranların muazzam kinetik enerjisi, büyük miktarlarda ısı ortaya çıkarmıştır: bu Büyük Patlama’nın ateş topudur, ortaya çıkan bir başka önemli şeyse fiziğin bildiği standart parçacık bahçesi olmuştur. Bu senaryo, Yunanca “ateşten doğma” anlamına gelen deyişten yapılan alıntıyla “ekpirotik evren” olarak bilinir.

İlginçtir, ekpirotik evrende şişme gereği ortadan kalkar, çünkü bu evren homojen yaratılmıştır.

Şişmenin bir kenara bırakılmasıysa, çeşitli evrenlerden oluşan sonsuz bir düzlem olduğu fikrini baltalar. Bu da evrenimizin neden olduğu gibi olduğunu anlama yolunda yanlışlanabilir hipotezler yaratma işini bırakmamız gerektiği anlamına gelir. Bütün bunları söyledikten sonra, sicim kuramcılarının yalnızca küçük bir bölümünün ekpirotik evren görüşünü kabul ettiğini, belki fizikçilerin de ancak küçük bir bölümünün sicim kuramının evreni açıklama gücüne inandığını belirtelim. Peki, bu işin sonu nereye varacak? Sicim kuramını en azından sınamayacak mıyız? Bu da bir başka tartışmalı sorudur. Şu an itibarıyla, kırk yıllık çalışmanın ardından, hâlâ sicim fikrini uygun biçimde sınamanın bir yolunu bulmamız gerekiyor. Ama bazı olasılıklar mevcut.

### Fazladan Boyutlara Bir Göz Atalım

Bir umut, gizli fazladan boyutların emarelerini görebileceğimiz olmuştur. Böyle bir emare, çok küçük ölçeklerdeki etkilerini incelerken kütleçekimde bir anormallikle karşılaşmamız olabilir. Kütleçekim bir “ters kare” kanunudur: Test edilen iki nesne arasındaki uzaklığı iki katına çıkarın, aralarındaki kuvvet dört kat azalır. Uzaklığı üç katına çıkarın, kuvvet dokuz kat azalır. Fakat küçücük, sarmalanmış bir boyut söz konusuysa, ters kare kanunu neler olup bittiğini tam olarak anlatamayabilir. Örneğin kütleçekim birbirlerinden bir milimetre kadar uzak olmayan nesnelere arasında biraz daha farklı işliyor olabilir.

Şimdiye dek buna dair hiçbir kanıtla karşılaşmadık. Ters kare kanununun bir milimetrenin onda altısından daha az mesafelerde yapılan sınamalarında böyle bir anormallik görülmedi. Fakat belki de şaşırılmamız gerekiyor. Nihayetinde sicimlerin kendileri de miniciktir; bir atomun çapının trilyonda birinin trilyonda birinden daha küçüktürler. Bu kadar inanılmaz derecede küçük bir şeyi nasıl tespit edebiliriz? Bir umut, sicimlerin bazılarının evrenin genişlemesi yüzünden büyümüş olmasıdır. Kozmos genişlerken bazı kozmik sicimler genişleyip evrenin her tarafına yayılmış “süpersicimlere” dönüşmüş olabilirler. Bunların varlıklarını evrende bize doğru gelen ışık üzerindeki etkileri yoluyla tespit etmemiz mümkündür: Süpersicimlerin yüksek kütlesi geçerken ışığı bükecek, kütleçekimsel mercekle olarak bilinen optik bir illüzyon yaratacaktır.

Sonra bir de ekpirotik olmayan standart evren senaryosunda, şişmenin evrenin ilk dönemlerindeki kütleçekim alanında dalgalanmalar yaratmış olacağı fikri vardır. Bu “kütleçekim dalgaları” Büyük Patlama’nın yankısı olan, kozmik mikrodalga arkaplan ışınımında korunmuş olsa gerek; fakat sicim kuramı bu dalgalanmaların ne kadar güçlü olabileceğine de sınırlar getirir. Dalgalar büyükse, sıkıştırılmış boyutların bazılarını açmış olurlardı ve bugün bizim deneyimlediğimiz üç boyuttan fazlası olurdu. Bu yüzden sicim kuramcılarını kozmik mikrodalga arkaplan ışınımında hiçbir kütleçekim dalgalanması olmamasını umut etmektedir. Bu yine sonuca varması zor bir sınamadır. Şimdilik, kurama kesin bir evet ya da hayır dememizi sağlayacak, “doğrudan vuran” bir deney yoktur. Evren sicimlerden mi oluşmuştur? İşte buna kesinlikle “Belki” diyebiliriz.

# NEDEN HİÇBİR ŞEY OLMAYACAĞINA BİR ŞEY VAR?

*Büyük patlama, karşıt madde ve varoluşumuzun gizemi*

*Bundan daha büyük bir soru olabilir mi? Neden biz, galaksi, evren, her şey var? Bu sorunun cevabını anlayabilmek için her şeyin başlangıcına gitmemiz gerekiyor, tabii eğer bulabilirsek.*

Birçok kültürde başlangıç diye bir şey yoktur. Örneğin antik Yunanlılar daire kavramına saygı duyarlardı; evrende temel olan her şey, evrenin kendisi de dahil durmadan tekrar eden daireler içinde cereyan ederdi.

20. yüzyıl başına dek, gökbilimciler arasında da buna çok benzer bir görüş birliği vardı: Evrenimiz ezelden beri mevcut olmuştu, bir başlangıçtan bahsetmenin hiçbir anlamı yoktu. Tabii ki bu kilise otoritelerini biraz rahatsız ediyordu.

Tekvin Kitabı bir başlangıçla başlar: Hiçbir şeyden bir şey yaratılır. Georges Lemaître adında Belçikalı bir rahibin, gökbilimin, evren için bir başlangıç noktası düşünmesi gerektiğine karar vermesinin sebebi belki de buydu. Bir fizik profesörü ve yetkin bir gökbilimci olan Lemaître “Büyük Patlama” olarak bilinen fikri ortaya atan ilk kişi olmuştu. Lemaître’in hipotezi her şeyin bir “ilk atom”dan doğduğu yönündeydi, bu ilk atom parçalanmış ve evrendeki bütün maddeyi yaratmıştı. Lemaître, Einstein’ın evrenin boyutlarını betimleyen genel görelilik denklemlerinden başlayarak evrenin yarıçapının değişebileceğini, başka bir deyişle evrenin genişleyebileceğini göstermiştir.

Bu kuramsal bir değerlendirmeden fazlasıydı: Kanıtı da mevcuttu. Lemaître ile başkalarının topladığı astronomik gözlemler, çoğu galaksinin bizimkinden uzaklaştığını gösteriyordu. Bunun ilginç bir sonuç doğurduğu Lemaître açısından açıklık kazanmıştı. Belki de galaksiler, Einstein’ın uzay-zamanı genişlediği için uzaklaşıyordu? Lemaître’in sonuçta kaleme aldığı makalede, “kozmetik yumurta” dediği şeyin patlamasından çıkmış, genişleyen bir evrende yaşadığımız ileri sürülüyordu.

## Hiçbir Şeyden Doğan Bir Şey

Lemaître’in çalışması Papa’yı ürkütmüştü; gökbilimcileriye o kadar değil. Papa’nın bir bilimsel kuramı onaylayacak olması, bu kuramın verilerinin ve kuramlarının *hiçlikten* yaratılma öğretisini desteklemesi rahatsızlık yaratıyordu. Yine de yirmi-otuz yıl sonra İngiliz gökbilimci Edwin Hubble, evrenin başlangıcı fikrini kozmolojinin ön cephelerine taşıdı. Hubble birçok farklı gökbilimcinin verilerini bir araya getirip kendi verilerini ekleyerek Lemaître’in çalışmasını ileri götürdü. Neredeyse bütün galaksilerin muazzam bir hızla bizden uzaklaştığını ve evrenin genişliyor olması gerektiğini kuşkuyla yer bırakmayacak şekilde gösterdi.

Gelgelelim, evrenin her zaman bizim gördüğümüz gibi olmadığı fikri yıllarca yoğun bir tartışmanın konusu olmuştur. Bu tartışmayı sonuca bağlayan kanıt –kimi zaman “Büyük Patlama’nın yankısı” olarak da bilinen kozmik mikrodalga arkaplan ışınımı– ancak 1963’te bulundu. Bu noktada, Büyük Patlama’nın neredeyse bütün muhalifleri bunun kozmik tarihe getirdiğimiz en iyi açıklama olduğuna kani olmuştu. Büyük Patlama kozmolojisinin ilerlemesiyle birlikte, neden hiçbir şey olmayacağına bir şeyin var olduğu sorusuna bir cevap geldi. Fakat bu yalnızca kısmi bir cevaptı. Bu fikir açık sorular doğuruyordu: “Büyük Patlama’ya ne yol açtı?”, “Ne patladı?” gibi.

Burada fizikçiler farklı yollara sapmışlardır. Bazıları bu soruların anlamsız olduğunu; çünkü

zamanın Büyük Patlama sırasında varlık bulunduğunu, dolayısıyla “önce” mefhumunun hiçbir anlamı olmadığını söylerler. Bunu, Kuzey Kutbu’nun kuzeyinde ne bulunduğunu sormaya benzetirler. Bazıları cevap verme yönünde bazı girişimlerde bulunmuşlar; fakat bu cevaplar sınanamayacak spekülasyonlar olmaktan ileri gidememiştir. Bu gibi cevaplar, hiçbir şeyin kesin bir miktarda enerjiye sahip olamayacağını, buna sıfır miktarda enerjisi olan bir evrenin de dahil olduğunu söyleyen Heisenberg belirsizlik ilkesi gibi kuantum fenomenlerini gündeme getirmiştir. Bu durumda kuantum dalgalanmaları, bir miktar enerjisi olan bir evren doğuracaktır ve bu evreni güçlendirip bir Büyük Patlama yaratacak süreçler vardır.

Büyük Patlama’nın her şeyin başlangıcı olmadığını, başka boyutlarda meydana gelen süreçlerin sonucu olduğunu söyleyen bazı fizikçiler de vardır; tanınmış bir fizikçi olan Stephen Hawking (bkz. *Evreni Değiştirebilir miyim?*) gibi. Başka bazı fizikçiler bunu biraz daha ileri götürmüşler; bu başka boyutlarda var olan “membran” olarak bilinen nesnelere tekrar tekrar çarpışıp birbirinden ayrılırken, bizim de sonu gelmez bir yaratım ve yıkım döngüsü içine sıkışıp kalmış “döngüsel bir evrende” yaşadığımızı ileri sürmüşlerdir (bkz. *Sicim Kuramı Gerçekten Sicimler Hakkında mıdır?*). Böyle bir akıl yürütme, yaratılıştaki ilahi bir ele ihtiyaç olmadığına inanmak isteyenler için tatmin edicidir, fakat böyle olmayanlar için ikna edici değildir. Bu meseleler bilimin eriminin dışında yatıyor olabilir gibi görünmektedir.

Fakat Büyük Patlama’nın nasıl ortaya çıktığını betimleme sorunları dikkate alındığında bile, bir şey yaratıldıktan çok kısa bir süre sonra yine hiçbir şey olmadığını kesinlikle ortaya koyuyor olması gereken, daha sonra ortaya çıkmış başka bir mesele vardır. Edwin Hubble’ın varoluşumuza getirilmiş bir açıklama olarak Büyük Patlama’nın temellerini atmasından önce, başka bir İngiliz, Paul Dirac bu temelleri dinamitliyordu. Bu mesele Dirac’ın fiziğe yaptığı en büyük katkı sayesinde artık iyice açılmıştır; Dirac’ın büyük katkısı karşıt maddedir.

### Bütün Karşıt Madde Nereye Gitti?

Dirac pek az sosyal becerisi olan, tuhaf sessiz bir adamdı. Çok aktarılan bir sohbeti onu gayet düzgün bir biçimde özetler: Cambridge’te verilen resmi bir yemek sırasında Dirac kendisi kadar ketum bir insan olan E. M. Forster’in yanına oturur. Masaya getirilen onca yemek sırasında sohbetleri bir tek soru ve cevaptan ibaret olur. Dirac, Forster’in *Hindistan’a bir Geçit* romanındaki bir sahneyi hatırlatarak “Mağarada ne oldu?” diye sorar. Forster epeyce sonra onu “Bilmiyorum,” diye cevaplar.

Belli ki ikili saatleri kafalarında geçiriyordu. Dirac’ın örneğinde bu kesinlikle verimli olmuştu. Atomaltı parçacıklar bahçesinin artık temel bir parçası olarak bilinen karşıt maddenin varlığı, bir kurama ihtiyaç gösteren deneysel bir sonuç yüzünden ileri sürülmüş değildir. Doğrudan, Dirac’ın, kuantum kuramına hakim olan denklemle, Schrödinger denklemiyle (bkz. *Schrödinger’in Kedisine Ne Oldu?*) ilgili değerlendirmelerinden doğmuştur.

Schrödinger denklemi, bir kuantum parçacığının enerjisini betimlerken ilk bakışta imkânsız gibi görünen bir muamma ortaya atmıştı. Denklem hızla hareket eden bir parçacığın enerjisinin iki rakam içerdiğini söylüyordu. Bu iki rakam birbiriyle çarpıldığında, 0 sonucunu vereceklerdi. Fakat her biri kendisiyle çarpıldığında cevabın 1 olması gerekiyordu.

Normal matematikte böyle bir şey yapılamaz. Fakat Dirac matris olarak bilinen rakam dizilerini kullanarak bunu başardı. Ödenmesi gereken tek bedel, kuantum parçacığının enerjisinin pozitif olduğu kadar negatif olmasıydı. Dirac, işkence kabilinden bir akıl yürütme zinciriyle negatif enerji yüklü

parçacıkların dünyamızda tezahür edebileceğini gösterdi. Bu parçacıklar aşına olduğumuz parçacıklar gibi görünecektir; ama tuhaf değişikliklerle.

Dirac, 1928'te yaptığı bir konuşma dizisinde karşıt elektronun varlığını ileri sürdü. Karşıt elektron tıpkı bir elektron gibi görünüyordu, ama artı yüklüydü. Dirac tefe kondu: Dönemin fizikçileri maddenin eksi yüklü elektronlar ile artı yüklü protonlardan oluştuğunu, başka da bir şeyden oluşmadığını düşünüyorlardı (nötronun keşfedilmesine daha dört yıl vardı). Yılmayan Dirac üç yıl sonra kuramını yayınladı. Karşıt elektronun “deneysel fiziğin bilmediği, yeni bir tür parçacık” olduğunu söylüyordu. Karşıt elektron bir elektronla karşılaştığında patlayıcı bir imha olacağı öngörüsünde bulunuyordu. Aynı şey bütün parçacıklar için geçerliydi: Bütün parçacıkların bir karşıt madde düşmanı vardı.

Bu ilan, fizik camiasına tam anlamıyla meydan okumamış olabilir; Dirac başkalarının ne düşündüğüyle pek ilgilenmiyordu. Yine de öngörüsü orada duruyordu; kimse bilmiyordu, ama kanıt da orada duruyordu. Kozmik ışınları; Dünya'nın atmosferine çarpıp başka bir parçacıklar ordusu yaratan yüklü parçacıkları inceleyen fizikçiler, Dirac'ın bu açıklamayı yapmasından beş yıl önce karşıt elektronun izini görmüşler, ama anlamamışlardı. Bu parçacıkların bazıları manyetik bir alandan geçtiklerinde, “yanlış yöne” doğru eğiliyorlardı. Bu bir anormallik olarak not edilmiş, Dirac'ın kuramsal fikirlerini tartıştığı dönemlerde bilimsel toplantılarda tartışılmıştı. Fakat ancak 1932'ye gelindiğinde biri çıkıp da ikiye ikiyi topladı; Carl Anderson kozmik ışın çarpışmalarının enkazında karşıt elektronu keşfetti. Bu atılım Anderson'a Nobel ödülü kazandırdı.

Evrendeki Karşıt Madde

---

### KARŞIT MADDE YAKITI

*Maddenin neden karşıt maddeye galebe çaldığını anlamak, insanlığın ayakta kalması açısından kritik bir önem taşıyor olabilir. Türümüz, her şeyin sorumlusu iklim değişikliği gibi “yerel” felaketleri atlatsa bile, nihayetinde çok daha büyük zorluklarla karşılaşacak. Örneğin 5 milyar yıl içinde, ölmekte olan Güneş'imiz genişleyecek ve Dünya'yı yutacak. Bundan çok daha önce, 2 milyar yıl sonra galaksimiz Andromeda galaksisiyle çarpışıp bizi, galaktik bir çarpışan yıldızlar ve gezegenler girdabının içine fırlatacak.*

*Bu tür senaryolardan sağ çıkabilmek yaşayacak yeni bir yer bulmayı gerektirebilir. Maalesef elimizdeki en iyi ulaşım biçimi bizi en yakın Dünya benzerinin yanına bile götürmeyecektir. Fakat karşıt maddenin bir faydası olabilir. Şimdiye kadar bulduğumuz en iyi aday gezegene bakalım. Gliese 581c, 20 ışık yılı uzaktadır. Bir insan ömrü içinde oraya ulaşmak için, aracın ışık hızının yarısı kadar bir hızla yol alıyor olması gerekir; bizim kimyasallarla işleyen roketlerimiz bu hıza yaklaşmamaktadır.*

*Tek umudumuz yeni bir yakıt teknolojisi geliştirmektir; maddenin karşıt maddeyle çarpışması halinde salınan enerji gibi bir şey. Bir kilo karşıt maddenin, aynı miktarda normal madde tarafından ortadan kaldırılması bir kilo TNT'nin patlatılmasıyla salınan enerjiden 10 milyar kat güçlü bir enerji yaratacaktır. Bu da karşıt maddeyi kilo başına enerji bakımından, nükleer fizyondan daha verimli kılar. NASA hesaplamaları, 100 ton karşıt maddeyle işleyen bir aracın saniyede 100.000 kilometre gibi bir hıza ulaşacağını ileri sürmektedir.*



*Bu, bir karşıt madde jeti yaratarak m¼mk¼n olabilir. İmha, devasa hızlarla yol alan yüksek enerji y¼kl¼ parçacıklar yaratmaktadır. Bu parçacıkları uzay aracının arkasından fırlatmak için bir mıknatıs sistemi kullandığınızda, Newton'ın üç¼nc¼ kanununa göre –her eylem eşit ve ters bir tepki doğurur– uzay aracı için devasa bir itiş sağlarsınız. Artık yapmamız gereken tek şey bu gücü araca aktaracak bir karşıt madde mekanizması yapmaktır.*

---

Karşıt maddenin var olabileceği açıklık kazandığında evrende ne miktarda bulunduğunu sormak da doğal oldu. Her yerde midir? Karşıt maddeden galaksilerdeki karşıt madde yıldızlarda da fark edilmeksizin bulunur mu? Eğer böyleyse evrende maddeden daha az mı karşıt madde vardır? Bu durum, neden hiçbir şeyin var olmaması yerine bir şeyin var olduğunu açıklar mı? Sorun şudur ki bu sorular karşıt madde hakkında daha fazla şey anlıyor olmayı gerektirir. Fakat etrafınızdaki her şeyle çarpıştığında ortadan kalkan bir şeyi nasıl incelersiniz?

Uzayda birkaç cevap bulduk ve artık makul derecede eminiz ki orada bir yerlerde karşıt maddeden yıldızlar yok; ama evrende karşıt maddenin doğal kaynakları bulunuyor. INTEGRAL teleskopundan gör¼ld¼ę¼ üzere bu kaynaklardan biri, Samanyolu'nun merkezine yakın bir yerlerde akan artı yükl¼ elektron, yani pozitron kaynağıdır. Dünya üzerinde de ipuçları vardır. Carl Anderson'ın göstermiş olduğu üzere, karşıt maddeyi kozmik ışınların Dünya'nın atmosferine çarpması sırasında oluşan enkaza bakarak inceleyebiliriz. Fakat burası da mebzul bir kaynak değildir: Gaz bulutlarına çarpan yüksek enerjili kozmik ışınlar, güneş sistemimizin tamamında saatte ancak yaklaşık 3-4 ton karşıt madde üretir.



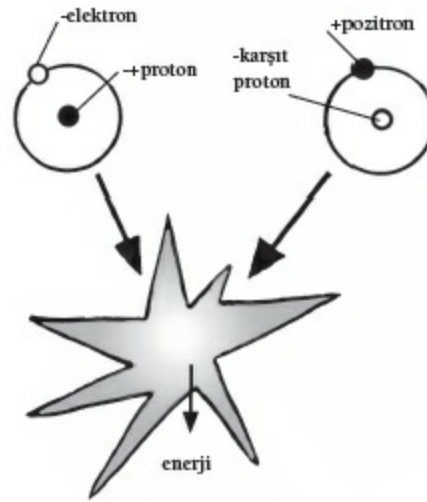
*KOZMİK İŞİN İZLERİNDE*

## KARŞIT MADDE

Aslına bakarsanız, Dünya üzerinde karşıt madde yaratma çabalarımız çok daha zayıf olmuştur. Başlıca karşıt madde kaynağı, Cenevre'deki Avrupa Nükleer Araştırmalar Örgütü'dür (CERN); fakat buradaki süreç inanılmaz derecede kaba bir süreçtir. Avrupa Nükleer Araştırmalar Örgütü araştırmacıları pozitif yüklü proton huzmelerini bakır ya da tungsten metal külçelerle çarpıstırmaktadırlar. Sonuçta muazzam bir parçacık fıskiyesi ortaya çıkmaktadır, bunların birkaçı da negatif yüklü karşı protonlardır. Bu pek az parçacığın birkaçı da doğru yöne doğru fıskırıp bir kapaanın içinde toplanmaktadır.

CERN araştırmacıları, bu sürece verdikleri 10 milyar jullük enerjiye karşılık bir julün eşdeğerini karşıt madde olarak geri almaktadırlar. CERN'de üretilmiş karşıt maddenin tamamını ortadan kaldıracak olsanız salınan enerji, tek bir ampülü ancak birkaç dakika boyunca aydınlatabilir.

Karşıt maddeyi depolayıp bir elektrik şebekesini beslemeniz mümkün değildir. Karşıt maddenin normal maddeye dokunması mümkün değildir; bu yüzden ancak bir "Kapan"ın elektromanyetik alanı tarafından tutulabilir. Bu aygıtta, parçacıkları bir kabın fiziksel duvarlarından uzak tutmak için elektromanyetik alanlar kullanılır. Bilim insanları karşıt maddeyi bir Kapan'da her seferinde ancak birkaç dakika boyunca tutabilir, her kapanda ancak belli sayıda parçacık tutulabilir: Parçacıkların karşılıklı birbirlerini itmeleri, Kapan'ın manyetik alanından kaynaklanan itmeyi aştığında, karşıt madde kabın duvarlarına çarparak imha olur.



*HİDROJEN İLE KARŞIT*

## HİDROJEN ARASINDA İMHA

Dahası, CERN'deki kapanlar ancak 1000 milyar parçacık tutabilmektedir; bu rakam kulağa çok gibi gelse de öyle değildir. Bu rakam çocukların oynadığı bir balonun içerdiği atom sayısının yüzde biri kadardır; bu rakama da ancak CERN'de yüzlerce milyon yıla eşdeğer bir üretimle ulaşılabacaktır. Karşıt maddeyle çalışan uzay gemileriyle yıldızlara gitme hayalinin (bkz. *kutu: Karşıt Madde Yakıtı*) daha iyi bir yakıt kaynağını beklemesi gerekiyor. Fakat karşıt maddenin kıtlığı CERN'in neden hiçbir şey var olmayacağına, bir şeylerin var olduğu konusunda ipuçları vermesini engelleyememiştir.

### Dengeyi Kaybetmek

CERN'deki Büyük Elektron ve Pozitron Çarpıştırıcısı'nda yapılan deneyler Büyük Patlama'nın, 5 metre küp uzayın, 10 milyar karşıt proton ve 10 milyar 1 proton tutması durumunda bir evren yaratmış olabileceğini söylemektedir. Bugünse aynı uzay bir proton içermekte, hiç karşıt madde içermemektedir. Tarihimizin bir noktasında madde ve karşıt madde karşılaşmış birbirlerini ortadan kaldırmış, geride her 5 metre küpte bir proton bırakmışlardır. Bu protonlar nihayetinde bir araya gelmiş ve bugün bildiğimiz evreni oluşturmuştur. Peki, parçacıklar arasında bu ilk dengesizliği ne yaratmıştır?

Rus fizikçi ve muhalif Andrei Sakharov, 1960'ların sonunda bu muammayı çözmeyi kafasına koydu. Bu detektiflik hikâyesi henüz sona ermemiştir; fakat madde ile karşıt madde arasındaki ilk dengesizliği neyin yarattığına dair elimizde bir ipucu bulunuyor. Öyle görünüyor ki nötrino denilen tuhaf küçük parçacıktır bu. Sakharov'un aradığı en büyük ipucu 1964'te geldi; fizikçiler radyoaktif çürümeyi ve bir atomun çekirdeğinde gerçekleşen başka süreçleri yönlendiren zayıf kuvvetle ilgili tuhaf bir şeyler bulmuştu. Zayıf kuvvet başka bütün kuvvetlerin aksine, madde üzerinde, karşıt madde üzerinde olduğu gibi etkili olmuyordu.

Her protonun içinde kuark denilen üç parçacık bulunur. Kuarkların karşıt madde parçacıkları vardır: Karşıt kuarklar. Anlaşıldığı üzere zayıf kuvvet, kuarklara ve karşıt kuarklara farklı biçimde davranır. Zayıf kuvvetin madde ve karşıt maddeye davranma biçimindeki bu farklılık, fizik kanunlarının bir şekilde madde ve karşıt madde açısından ince bir farklılık göstermesi gerektiği anlamına gelir. Bu da demektir ki enerji ve momentumla ilgili korunum kanunları madde ve karşıt madde açısından geçerli olamaz. İkisinin arasındaki dengenin değişmesini mümkün kılan doğal süreçlerin var olması gerekir.

Peki, bu süreçler nelerdir? Bir ipucu bu süreçlerin parçacıklar, karşıt parçacıklar ve ışınım arasında reaksiyonların gerçekleştiği kozmik bir alt üst oluş sırasında ortaya çıkmış olması gerektiğini söylemektedir. Bu reaksiyonlar parçacıklar açısından bir oranda, karşıt parçacıklar açısından başka bir oranda gerçekleştiyse geride kalan miktarlar arasında net bir farklılık olacaktır. Evrenin ilk evreleri, termal dengeden epeyce uzak olması, bu yüzden enerjinin parçacıklara, parçacıkların farklı parçacıklara dönüşümleriyle dolu olması itibarıyla böyle bir dengesizliğin yaratılması açısından mükemmel bir ortamdır.

Sakharov bu kadar ötelere gidebilmişti; ama biz artık çok daha uzağa gitmiş bulunuyoruz. Büyük Patlama sonrasındaki sıcak, yoğun koşulların eski soğuk, boş evrenimizde asla görülmeyecek bir dizi parçacıcılığın yaratılması açısından mükemmel olduğunu biliyoruz. Bu parçacıkların biri, "majoron"

olarak bilinen parçacık da hiçbir şey yerine bir şey olmasının sebebidir.

---

## TEK MEYVE İMHA DEĞİLDİR

*Uzaydaki tuhaf fenomenlerle ilgili araştırmalar bize, neden hiçbir şey olmayacağına bir şey olduğu hakkında daha fazla şey söyleyebilir. Madde ve karşıt madde karşılaştığında, sonuçta ortaya bir gama ışını çıkar. İşte bu yüzdendir ki 1997’de bir NASA uydusu, Samanyolu’nun merkezine yakın bir yerlerden bir gama ışını akışı gördüğünde, besbelli ki madde bulutlarının karşıt madde bulutlarıyla imha olduğu ve bunun “karşıt madde kaynağı” olarak bilinen şeyi yarattığı sonucuna varıldı.*

*Başka olası açıklamalar da vardır. Bir kara delik bir parçacık fıskiyesi yaratmış da olabilir ya da belki de bir süpernovanın parçaları radyoaktif çürüme geçiriyordur. Fakat en ilginç fikir, yeni bir tür kimyanın –karşıt madde kimyasının– iş başında olmasıdır.*

*Paul Dirac’ın, madde ve karşıt maddenin temas etmeleri halinde imha olacağı öngörüsü, sayılamayacak kadar çok deneyse doğrulanmıştır; fakat kesinlikle bir patlamadan daha fazlası olacaktır. Öncelikle karşıt maddenin bazı durumlarda madde yarattığı bilinmektedir. CERN araştırmacıları karşıt protonlarla karşıt elektronları (pozitron) aynı karşıt madde kapağına koymuş, karşıt hidrojen atomu yapmak için bunları birleştirmişti (hidrojende bir elektron, bir proton vardır; karşıt hidrojende de bir pozitron bir de karşıt proton bulunur). Buldukları tek şey karşıt hidrojen olmamıştır. Birkaç mikrosaniye boyunca karşıt protonların saf enerji yaratan bir patlama olmaksızın, hidrojen moleküllerindeki protonlarla birleştiğini görmüşlerdir. Öyle görünüyor ki imha kaçınılmaz değildir; en azından hemen olacak diye bir şey yoktur.*

---

### Majorona Girin

Kuram, majoronun yaşlandıkça, çürümekte olan bir parçacıktan eşit sayıda parçacık ve karşıt parçacık yaratan simetri kanunlarına uymadığını ileri sürer. Majoron çürüyüp nötrino denilen parçacıklar oluşturur; nötrinolar evrenin her tarafına neredeyse ışık hızıyla giden, minicik yüksüz parçacıklardır. Majoronlar nötrinonun karşıt parçacığı karşıt nötrinoyu da üretir. Fakat majoronun eşit sayıda nötrino ve karşıt nötrino üretmesi konusunda zorlayıcı bir şey yoktur.

Nötrinolar ve karşıt nötrinolar ömürleri süresince elektronlar ve pozitronlarla çarpışarak kuarkları ve karşıt kuarkları oluşturacaktır. Nötrinoların sayısı karşıt nötrinoları aşarsa, bu karşıt kuarklardan daha fazla sayıda kuarkın oluşacağı anlamına gelir. Bu yüzden kuarklar ve karşıt kuarklar arasında imha gerçekleştiğinde geriye madde kalır.

Bu, eldeki soruna getirilmiş memnuniyet verici bir çözümdür; fakat merhemin içinde bir sinek bulunmaktadır. Kanıtlanmamış bir kuramdır bu: Henüz majoronun varlığına dair doğrudan bir kanıt görmedik. CERN’in Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nda bazı dolaylı kanıtlar görülmüş olabilir; fakat deneylerimiz henüz imha öncesinde gerçekleşen koşulları yeniden yaratıp majoronu iş başındayken gözlememizi sağlayacak kadar güçlü değildir. İş neden hiçbir şey yerine bir şeyin var olduğunu anlamaya geldiğinde, belki de güvenebileceğimiz tek cevabı yaratılışın ilk anlarına yapılacak bir zaman yolculuğu verebilir.



# BİR SİMÜLASYONDA MI YAŞIYORUZ?

*İnsan doğası, fizik kanunları ve teknolojik ilerlemenin yürüyüşü*

*1998’de sokakta rastladığınız hemen hemen hiç kimse bu soru üzerine bir an olsun düşünmezdi bile. 1999’un sonuna gelindiğindeyse, bu olasılık yerkürenin her yerinde milyonlarca insan tarafından tartışılıyordu. Peki neden? Çünkü Matrix’i izlemişlerdi. Filmin temel tartışması, Dünya üzerindeki insan nüfusunun besin tekneleri içinde yattığı, enerjilerinin bir makineler ırkı tarafından toplandığı yönündeydi.*

Bu dehşet verici duruma tepki göstermeyelim diye beyinlerimize doğrudan bir bağlantı üzerinden erişmenin mümkün olduğu, simüle edilmiş bir gerçeklik içinde varoluşa sahip kılınmıştık. Bu durumda bütün bilinçli deneyimlerimiz bir bilgisayar programı ürünü olmaktan öteye gitmiyordu.

Duyulmamış bir fikir değildir bu. Descartes’tan bu yana filozoflar gerçeklik algımızın aldanmanın ürünü olup olamayacağını tartışmış, bilim-kurgu yazarları da benzer bir tartışmayı birçok kez kullanmışlardır. Örneğin 1966’da Philip K. Dick, insanların daha önce hiç yapmamış oldukları şeyleri tecrübe etmelerini sağlayan “takılabilir hafızalar” satın aldığı bir hikâyeye yayınlamıştı. TV dizisi *Dr Who* 1976’da Matrix denilen devasa bir bilgisayar sistemini tanıtmıştı; bu sistem de beden dışı deneyimleri mümkün kılmak üzere doğrudan beyne bağlanabiliyordu.

Fakat 1999’daki *Matrix*’in, beyaz perdeye tam zamanında bomba gibi düştüğü aşıkardı. Gösterime girmesini izleyen birkaç yıl içinde, fizikçiler bu fikri bilimsel konferanslarda tartışmaya başlamışlardı; tartıştıkları her seferinde de filme göndermede bulunuyorlardı. Tuhaf gelebilir, ama bunun iyi bir sebebi vardı. Simüle edilmiş bir gerçeklik içinde yaşadığımız fikri, fizikte yeniden su üstüne çıkmış çok eski bir soruya verilmiş pek az akla yatkın cevaptan biriydi.

Gökbilimciler evrene baktıklarında tuhaf bir şey fark etmişlerdir. Bundan bahsetmeye neredeyse tereddüt ederler; fakat bu oturma odasına girmiş fil gibi bir şeydir, varlığının teslim edilmesi gerekir: Bu evren bizim için dikkat çekecek kadar iyidir. Bir parçasını değiştirdiğinizde, diyelim doğa kanunlarından birini biraz bozduğunuzda, bizler ortaya çıkmamış oluruz. O kadar ki sanki evren bizim yaşamamız amacıyla tasarlanmıştır. Eğer durum buysa bütün bunları tasarlayan tasarımcı, varoluşumuzu istemek için bir sebebi olan –belki iş, belki zevk– bir süper zekalı varlıklar ırkı olabilir mi?

Bu tabii ki büyük bir “eğer”dir; herhalde fizikteki en büyük “eğer”dir. Bu “eğer”le ilgili tartışmanın bir ismi bile vardır: “Antropik ilke.” Aslında bu yanıltıcı bir isimdir. Öncelikle bir ilke olmaktan çok bir iddiadır. Ayrıca antropik “insan merkezli” anlamına gelse de bu iddia aslında bununla ilgili değildir. Bu terimi ortaya atan astrofizikçi Brandon Carter, terimin yalnızca insan hayatını değil, genel olarak zeki hayatın varlığını kapsamasını amaçlamıştı.

Carter antropik ilkeyi, fizikçilerin yeni bir paradigmaya, Büyük Patlama’ya ayak uydurmaya çalıştığı sırada ortaya atmıştı. Evrenin bir başlangıcı olduğu fikri yaygın bir kabul görünceye dek fizikçiler, evrenin tarihinde böyle “özel” bir zaman gibi bir şeyin olamayacağını varsaymışlardı. Evren her zaman var olmuştu, her zaman da büyük ölçüde şimdi olduğu gibi var olacaktı.

Fakat 1963’te kozmik mikrodalga arkaplan ışınımının keşfedilmesiyle birlikte her şey değişti. Bu ışınımın yaratılışının bir yankısı olarak kabul edilmesiyle birlikte, evrenin sayfa sayfa açılan,

önemli olayların öne çıktığı bir tarihi olduğu düşünülürdü. Sorun şuydu ki gökbilimin temel ilkelerinden biri her zaman, insanların uzayda da zamanda da özel bir yere sahip olmadığını ortaya koyan Kopernik ilkesi olmuştu. Büyük Patlama'yla birlikte Kopernik ilkesi tehdit altına girmiş oluyordu.

## Özel Bir Evren mi?

Carter, ama, diyordu, önyargılarımız ne olursa olsun, evrenle ilişkimizde özel bir şey olduğunu teslim etmemiz gerekir. Bilim insanlarının katıldığı 1974'teki bir toplantıda "Durumumuz mutlaka merkezi konumda olmasa da bir ölçüde kaçınılmaz olarak ayrıcalıklıdır," demişti. Bu ayrıcalık öncelikle, evrenin evrimini yöneten kanunlardan geliyordu.

Bu kanunların bize rahat bir varoluş sunmak için tasarlanmış olduğunun düşünülebilir olmasının birçok sebebi vardır. Bunların ilki kütleçekimin epey uygunluk gösteren kuvvetidir. Büyük Patlama sonrasında uzay genişliyor, bütün madde parçacıklarını birbirlerinden daha fazla uzaklaşmaya zorluyordu. Kütleçekim kuvveti ise bu genişleme aleyhine çalışıyordu: Parçacıkların karşılıklı kütleçekimi onları birbirine çekiyordu.

Bu sorunun çözülmesinin üç yolu vardır. İlk, uzayın genişlemesi kütleçekimin çekim gücünü ezici bir biçimde aşmış olabilirdi. "Açık evren" olarak bilinen bu senaryoya göre, her madde parçacığı birbirinden uzağa itilir, sonuçta birbirlerinden giderek ayrılmaları kütleçekimin çekim gücünü daha bir zayıflatırdı. Bu durumda galaksiler, hatta belki yıldızlar da oluşmamış olurdu.

Peki ya kütleçekimin çekim gücü genişleyen uzayın itiş gücünü aştıysa? Bu durumda yıldızlar ve galaksiler kısa bir süreliğine oluşmuş olurdu; fakat kütleçekimin kuvveti, çabucak kendi içlerine çökmeleri ya da birbirleriyle çarpışmaları anlamına gelirdi, evren devasa bir kütleçekim çatırdamasıyla içe doğru çökerdi. Bu senaryoya "kapalı evren" senaryosu denir.

Üçüncü senaryo, "kritik evren" senaryosu ise itiş gücü ile çekiş gücü arasında hassas bir denge kurulmuş olmasını gerektirir. Bu senaryoda evrendeki maddenin yoğunluğu, Büyük Patlama'nın hemen ardından kütleçekimin çekiş gücünün evrenin genişlemesini neredeyse mükemmel bir biçimde etkisiz hale getireceği boyutlardadır. Kütleçekim maddeyi yıldızların oluşmasına, toplanıp galaksiler oluşturmaya yetecek kadar çeker. Kütleçekim kuvvetlerinin karşılıklı etkisi sayesinde yıldızlar ve galaksiler arasındaki genişleme yavaşlamış, evrene uzun ve verimli bir hayat bahşedilmiştir.

## Kozmik Bir Tesadüf

Peki, ama bu senaryolar arasındaki farklılık nedir? Gökbilimciler rakamlarla uğraşmaya başladıklarında, önce kritik evrene bakarlar. Bunun için evrendeki maddenin yoğunluğunu incelemeleri gerekir; bu "Omega" dedikleri parametredir. Öyle anlaşılmıştır ki kritik evren senaryosunun gerçekleşebilmesi için Omega'nın, Büyük Patlama'dan bir saniye sonra belli bir değere sahip olması gerekir. Omega dudak uçuklatacak kadar küçük bir değerden –milyon milyarda bir– bir değer daha küçük ya da büyük olsaydı, hayatın bizim Güneş'imiz gibi genç bir yıldızı çevreleyen dostane ortamda yerleşiklik kazanmasına kalmadan ya evren kendi içine çöker ya da madde birbirinden çok çok uzaklara düşerdi.

Tek kozmik tesadüf bu değildir. Kütleçekimin kuvveti, uzayın baştaki genişlemesine karşı uygun; fakat hassas bir biçimde dengelenmiş, bizim Güneş'imiz gibi yıldızların oluşmasını mümkün kılmış olabilir. Ama bir de Güneş'in hidrojen atomlarını birleştirip helyum oluşturarak enerji salmasındaki

verimliliği düşünün. Bu verimlilik yaklaşık 0,007'dir. Yani hidrojen atomlarının atomik kütleleri, yeni oluşmuş helyumun kütlesiyle kıyaslandığında, yüzde 0,7'lik bir kayba uğramaktadır. Dünya'da hayata güç veren de bu enerjidir; esasen ısı enerjisi.

Peki ya burada ne kadar hareket alanı bulunuyor? Bu dönüşümün verimliliğini artırmak, bir atomun çekirdeğindeki parçacıklar arasında biraz daha kuvvetli bir "tutkal" bulunuyor olmasını mümkün kılmak anlamına gelir. Bu verimlilik 0,008'den fazla olsaydı, Büyük Patlama sırasında oluşmuş hidrojenin tamamı neredeyse hemen helyuma dönüşürdü ve yıldızlarda yanacak hidrojen kalmazdı. Başka bir deyişle ölü bir evren doğmuş olurdu. Öbür yöne gidip verimliliği 0,006'ya düşürecek olursak bu da nükleer tutkalın çok zayıf olması, o kadar ki helyumun hiç oluşmayacak, güneşin hiç tutuşmayacak olması anlamına gelirdi. Bu durumda da yine hayat mümkün olmazdı.

Sonra bir de elektrik kuvvetinin kütleçekimden yaklaşık 1040 kat büyük olması meselesi var. Bu durum atomlara temel özelliklerini kazandırır. Pozitif yüklü çekirdek ile yörüngede dönen negatif yüklü elektronlar arasında karşılıklı bir itiş vardır. Fakat aynı zamanda kütleçekimden kaynaklanan karşılıklı bir çekim de vardır. Aralarındaki oranı küçük bir miktar değiştirin, atomların temel niteliklerini değiştirmiş olursunuz, o kadar ki bu da yıldızların temel niteliklerini değiştirir; başka bir deyişle sağa sapın Güneş gibi yıldızların etrafında gezegenlerin oluşmayacağı bir evren yaratmış olursunuz. Sola sapın hayatın kimyasının altında yatan karbon atomlarını ortaya çıkaran süpernovaların varlığını tehdit etmiş olursunuz. Başka örnekler de vardır: Nötronun kütlesini yüzde 1 oranında azaltın, bir tane bile oluşmaz.

## Evrenle Oyun Oynamak

Her şey ayarlanmış gibi görünüyor öyle değil mi? Büyük İngiliz astronom Fred Hoyle böyle düşünüyordu. Bir keresinde evrenin çok hayat-dostu olduğundan, o kadar ki "hileli bir iş" gibi görüldüğünden yakınmıştı. Biri ya da bir şey, hayatın yaratılmasını kolaylaştırmak için fizik kanunlarıyla "oynuyordu."

Peki, bir bilim adamı bu konuda ne yapar? Bunu Tanrı'nın yaptığını söylemenin –bu bilim adamlarını cevap arayışlarında hiçbir yere çıkarmaz– yanı sıra üç seçenek bulunmaktadır. İlk seçenek problemi tepe taklak çevirmektir. Evren birazcık olsun farklı olsaydı, biz burada oturmuş bu gibi şeyler hakkında kafa yoruyor olmazdık. Evren, elbette ki hayatın var olması için kesin bir dengeye sahiptir. Biraz farklı bir evrende var olamazdık. Böyle bir yaklaşım bizi, fizik kanunlarının bu önemli rakamlara farklı değerler verdiği başka evrenlerin varlığını değerlendirmeye zorlar. Bunlar ölü evrenler olmanın yanı sıra bilimsel bakımdan da çıkmaz sokaklardır. Onlara ulaşamayız; bu yüzden de evrenimizin hayat için hassas bir dengeye sahip olmasıyla ilgili soruya doyurucu bir yanıt bulamamış olmaya razı olmamız gerekir. İkinci yaklaşım da tıpkı birincisi gibi doyurucu değildir: Hassas ayarı doğaüstü bir tasarımcının, doğa kanunlarını aşan bir varlığın varlığına bağlarız. Burada da bu yaklaşımın doğru yaklaşım olup olmadığını ayırt etme yönünde bir umudumuz yoktur.

Üçüncü seçenekse, ona doğru gitmekte olduğumuz çözümdür: Evren varoluşumuza çok uygundur; çünkü bizim varoluşumuz için tasarlanmıştır. Bu durumda tasarımcılar tanrılar değildir. Bizim gibi varlıklardır. Ama teknoloji üzerindeki kontrolleri bakımından bizden çok daha ileridirler. Aslına bakarsanız o kadar ileridirler ki birbirinden inanılmaz iki şey birden yaratabilirler. Biri, bilinçlilik olarak değerlendirdiğimiz şeyi gösteren varlıklardır. İkincisi ise bu varlıkların bilinçleriyle tecrübe ettiği bir dünyadır. Simülasyon argümanı olarak bilinen mantıksal dizge budur. Bu argümanın

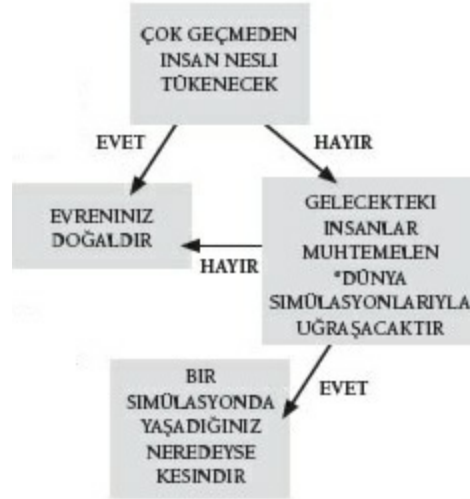


parçalarını bir araya getiren ilk kişi filozof Nick Bostrom olmuştur. Bostrom 2001’de “Bir Bilgisayar Simülasyonunda mı Yaşıyorsunuz?” başlıklı makalesini elden ele dolaştırmaya başlamıştı. Bu soruya, büyük ihtimalle evet, diye cevap veriyordu.

## Dünyayı Yeni Baştan Yaratmak

Bostrom’un argümanı bir hayli doğrudandır. Durun ve şu anda kullanmakta olduğunuz bilgisayar gücü üzerine bir düşünün. Bunu on yıl önce kullanabildiğiniz bilgisayar gücüyle karşılaştırın. Bir de yirmi yıl öncesine karşılaştırın. Şimdi bu düşüncelerinizi geleceğe tercüme edin. Eğer medeniyetimiz bu binyılda ayakta kalabilirse nüfusun elindeki bilgisayar gücü bugün bizim tahayyül edemeyeceğimiz büyüklükte olacaktır.

Şimdi bugüne geri dönelim. En popüler bilgisayar oyunlarından biri nedir? Simülasyon. *Second Life* adlı simülasyonun olağanüstü başarısını bir düşünün örneğin. İnsanlara alternatif bir varoluş fırsatı sunmaktadır; milyonların dört elle sarıldığı bir fırsattır bu. Başka simülasyon oyunları tanrıyı oynamanızı, başkaları üzerinde denetim kurmanızı ya da sadece kaderlerinin nasıl bir yola girdiğini izlemenizi mümkün kılmaktadır. Bu insan zihninin başka bir dünyada uğraşmayı sevdiği bir şeydir. Peki, işler neden bin yıl sonra daha farklı olsun?



### SİMÜLASYON ARGÜMANI

Bostrom’un argümanı, şu üç önermeden birinin doğru olması gerektiği yönündedir. İlk önerme, insanların gerçeklik olarak tecrübe ettiğimiz şeyi yansıtacak bilgisayar simülasyonları – sanal gerçeklik – yürütebilecek derecede sofistike bir düzeye gelmeden, ezici bir ihtimalle tükenip gideceğini söyler. İkincisi, hayatta kalabilecek herhangi bir medeniyetin bu tür simülasyonlar yürütmesinin son derece ihtimal dışı olduğunu söyler. Üçüncüsü ise, böyle bir bilgisayar simülasyonunda yaşıyor olmamızın neredeyse kesin olduğunu söyler.

İlk önerme ihtimal dışı görünmektedir. Kendi kendimizi mutlaka ortadan kaldırmamızın ya da mutlaka ortadan kaldırılmamızın *a priori* bir sebebi yoktur. İkincisi daha da ihtimal dışı görünmektedir: Simülasyonlardan aldığımız haz, daha da fazla simülasyon gücüne sahip olduğumuzda bunu kullanmayacağımız varsayımında bulunmaya yer bırakmamaktadır. Böylece geriye üçüncü önerme kalır. Uzak bir gelecekte bahsettiğimiz dikkate alınırsa, bu uzak gelecekte “orijinal” evrenin her yerine dağılmış neredeyse sonsuz sayıda medeniyetin simülasyonlar yürüttüğü düşünülürse, bu orijinal evrende olup da bir simülasyonda olmamızın ihtimali nedir? Son derece küçüktür. Başka bir deyişle neredeyse kesinlikle bir simülasyon içinde yaşıyoruz.

Bunalıma girmeye neden olacak bir şey değildir bu; dünya her zaman olduğu kadar gerçektir. Dahası, evrenlerin doğaüstü tanrıların eliyle yönetildiği yönündeki fikirlerin aksine, simülasyon argümanı sınınamaya açık olabilir. Kabul edilmesi gereken ilk şey, bu argümanın hassas ayarla ilgili soruyu yanıtlıyor olmasıdır. Bu simülasyonun yaratıcılarının simülasyonu yaratmak için bir sebepleri olması gerekir. Dolayısıyla, simülasyonların ezici bir çoğunluğunun yaratıcıları ve kullanıcılarına ilginç gelecek kadar iyi işliyor olması gerektiğini ileri sürmek akla yatkın görünmektedir. Bizim simülasyon ortamları yaratma tecrübemiz, bunun, bu ortamları “varoluşlarından” memnun varlıklarla doldurmak anlamına geldiğini düşündürmektedir; bu varoluştan duyulan memnuniyet de simüle edilmiş dünya ve sakinleriyle etkileşim kurma becerisini de gerektirme eğilimi göstermektedir.

Bu yüzden akla yatkın bir simülasyon, karmaşık hayat olarak addedeceğimiz şeyin gelişimini teşvik edecektir. Doğa kanunlarına baktığımızda gördüğümüz üzere, bu karmaşıklık sebebiyle, kurgu için hayli dar bir olasılıklar yelpazesi oluşur. Bu da en azından, hassas ayar için akla yatkın bir açıklama sunmaktadır. Şimdi böyle bir açıklamayı bilimsel olarak sınıamanın bir yolunu bulmamız gerekir. Bu da yine, bizim simülasyonlar yaratma tecrübemizde bulunabilir.

### Muhafazakâr Bilgisayar Kullanımı

Bilgisayar programcılığının temel kurallarından biri, değerli bilgisayar kaynaklarını israf etmemenizdir. Bu da herhangi bir simülasyonun sonsuz derecede rahat, pürüzsüz olmayacağı anlamına gelir. Simülasyon bilinçli avatarlarına etraflarındaki dünyada bir süreklilik duygusu verecek kadar iyi kurulmuş olacaktır; ama gereğinden fazla da iyi olmayacaktır. Bu da aniden yakından bakıldığında, programlamadaki açıkların ortaya çıkarılabileceği anlamına gelir.

Aslına bakarsanız bunu çoktan yapmış olabiliriz. Gerçekliğimizi tanımlamak için geliştirdiğimiz kuramların belirgin tutarsızlıklar gösterdiğini zaten biliyoruz. Örneğin, atomaltı ölçeklerde karşılaştığımız şeyleri tanımlıyormuş gibi görünen kuantum dünyası insan zihnine anlamsız geliyor. Kuantum dünyası parçacıkların birçok varlık göstermesini, aynı anda iki uzamsal konumda bulunmasını ya da aynı anda zıt yönlere hareket etmesini mümkün kılıyor.

Benzer bir biçimde, geniş kozmolojik ölçekleri düşünürken gerçekliği tanımlamak için kullandığımız görelilik kuramı da bir kara deliğin içi ya da Büyük Patlama anının geometrisi gibi en uç kozmolojik koşulları tanımlamayı başaramıyor. Kuramlarımızın, bu hayal kırıklığı yaratan sınırlamaları, gerçekliğimizin arkasındaki programlamanın sınırlarını yansıtıyor olabilir mi?

Değerlendirilmesi gereken başka kanıtlar da vardır. Modern bilimin en önemli amaçlarından biri fizik kanunlarını “birleştirmek”tir. Şu sıralar bunun ana dayanak noktası, görelilik kuramı ile kuantum kuramını birleştirmektir. Fakat bu, şimdiye kadar kimsenin arada çöpçatanlık edemediği bir izdivaç olmuştur. Bunun sebebi, böyle bir birleşmenin esasen imkânsız olması olabilir mi?

Bugünkü simülasyonları yaratırken programcılar ince ayrıntıları, örneğin bir kutup ayısının kürkündeki tüylerin hareketini şifrelemek için belli bir yöntem kullanırlar. Pastoral bir manzara görüntüsü yaratmak için kullanılan yöntemlerse farklıdır. Benzer bir şekilde bizim simülasyonumuzun yaratıcıları da bizim gerçekliğimizi farklı ölçeklerde programlamak için farklı yöntemler kullanmış olabilirler; bu yüzden de bu yöntemleri birleştirmeyi ummaktan kaçınmamız gerekir. Eğer mesele buysa bilimin uğradığı hayal kırıklıkları, varoluşumuzun doğasına ilişkin ipuçları olabilir.

Başka bir ipucu genetik şifremizde bulunabilir. DNA’mız kopyalandığında hata verme

eğilimindedir. Düzeltilmeden bırakılırsa bu hatalar, herhangi bir türün ömrünün kısa olmasına, hatta belki de gelişemeyecek kadar kısa olmasına yol açmaya yeter. Genlerimizin işleyişine yerleştirilmiş hata düzeltme rutinleri olmasa hayatın simüle edilmiş hikâyesi hızla bozulabilirdi. Biz de kendi bilgisayar programlarımızda aynı şeyi yaparız: İşleri geri döndürülemez şekilde bozulmadan yoluna koyacak hata düzeltme rutinleri yerleştiririz. Dolayısıyla simülasyonun programcılarının aynı yöntemleri kullanmak zorunda olduğunu düşünmek, büyük bir adım değildir.

Ciddi fizikçilerin ileri sürdüğü iddialardan biri, simülasyonda yapılan bir düzeltmenin fizik kanunlarında çatlaklar, hatta kırılmalar yaratabileceğidir. Bazı şeyler beklendiği gibi hareket etmeyebilir. Bu tür gözlemler yapmış mıyız peki? Aslına bakarsanız evet. Örneğin gökbilimciler, Dünya'ya gözlenebilir en uzak galaksilerden ulaşan ışığın fizik kanunlarının uzak geçmişte bir noktada bir kırılma geçirdiği yönünde işaretler verdiğini ileri sürmüşlerdir. Bu ışık 12 milyar yıl önce salınmıştır ve yolculuğu sırasında evrendeki maddeyle etkileşimi, akla yatkın bir biçimde beklenebileceğinden biraz daha farklı bir nitelik göstermektedir.

Öyle görünüyor ki bu gözlem, fizikteki sabitlerden birinin, ışık ve maddenin nasıl bir etkileşim içinde olacağına ilişkin ince ayrıntılara hükmeden sabitin geçmişte ince bir farklılık gösterdiği anlamına gelmektedir. Bu bir programlama hatası mıdır yoksa hata düzeltme rutininin bir parçası mıdır? Değişen sabitle ilgili bilimsel çıkarımlar yeterince sağlam görünse de bunun bir simülasyonda yaşadığımız fikrini desteklediği iddiası hâlâ tartışmalıdır.

Bu “sınamaların” hiçbiri mat edici bir ikna gücüne sahip değildir. Bir bilgisayar simülasyonunda yaşadığımız fikri ilginç bir fikirdir ve modern fiziğin en can sıkıcı problemlerinden birine birçok bakımdan son derece akla yatkın bir cevap verir. Kanıtlanacak mı yoksa yanlış olduğu mu ortaya konacak, bu sorunun cevabı henüz verilmemiştir. Bazı filozoflar, bir simülasyonda yaşadığımızdan kesinkes emin olmamızın tek yolunun, bu fikri yaygınlaştıran insanların, simülasyonun başarısının devamına bir tehdit oluşturdukları için gizemli bir biçimde “silinmesi” olacağını savunurlar; böyle bir savunmanın sebebi belki de bu cevabın verilmemiş olmasıdır. Başka bazı filozoflar aynı derecede oyuncu, ama daha cazip bir iddiada bulunmuşlardır. Bu keşifte bulunduğumuza göre, çok geçmeden gökyüzünü parça parça eden devasa bir mesaj almamız tümüyle mümkündür: “Tebrikler: Lütfen ikinci düzeye geçin.”

# DOĞANIN EN GÜÇLÜ KUVVETİ HANGİSİDİR?

*Evreni bir arada tutan bağlar ve süperkuvvetteki kökenleri*

*Doğrudan Hollywood'dan çıkmış bir sorudur bu. İki heybetli, ama birbirinden çok farklı hayvanı alın, birbirlerinin üzerine salın. Alien'a karşı Predator'ı, King Kong'a karşı Godzilla'yı gördük; Kütleçekim'e karşı Güçlü Kuvvet'e ne dersiniz? Ya da Zayıf Nükleer Kuvvet'e karşı Elektromanyetizma'ya? Bu tür soruların cevaplarının ulaşılamaz olduğunu duymak sizi şaşırtmayacaktır. Gelgelelim bunun sebebini şaşırtıcı bulabilirsiniz.*

Fizikçilerin kuşkuları haklıysa dört kuvvetle değil bir kuvvetle uğraşıyoruz. Becerikli bir kuklacının bir kukladan fazlasını oynatabilmesinde olduğu gibi, öyle görünüyor ki doğanın farklı kuvvetleri olarak gördüğümüz şeyin arkasında bir tek süperkuvvet var. Kütleçekimin, elektromanyetizmanın, güçlü ve zayıf nükleer kuvvetlerin birleşik halde olması söz konusu olabilir.

Newton, büyük eseri *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*'nın önsözünde, bütün doğa olaylarının, “cisimlerin parçacıklarını, o zamana kadar bilinmeyen bazı sebeplerden ötürü ya birbirine doğru çekip düzenli şekiller halinde birleştiren ya da itip birbirinden uzaklaştıran belli kuvvetlere dayandığı” yolunda derin bir şüphe beslediğini yazmıştı. Başka bir deyişle, fiziğin özünü doğadaki kuvvetlerin oluşturmasından kuşkulanıyordu.

Bu fikir, ondan önce gelen fikirlerle çarpıcı bir tezat gösterir. Yunanlıların bilimsel araştırma tarzı, bir “ilk hareket ettiricinin”, adalet ve ahlak mefhumlarına da hükmeden nihai bir etkenin rolünü varsaymak ve bu role saygı duymaktı. Doğa olaylarının arkasında ilişkili oldukları etik ve ahlaki boyutları araştırmaksızın sırf fiziksel mekanizmalar aramak gibi bir şey yapılmıyordu. Fakat artık fizik kuvvetlerinin herkes için geçerli olduğunu, ahlaki açıdan hiçbir şey ifade etmediğini biliyoruz. Matta İncili'nin diliyle söyleyecek olursak kütleçekim “adil olanın üzerine de olmayanın üzerine de yağmur yağdırdı.”

Ama kuvvetlerin hepsi de bu kadar kapsayıcı değildir. Örneğin elektromanyetik kuvvet yalnızca elektrik yükü taşıyan parçacıklar arasında etkilidir. Güçlü kuvvet yalnızca kısa bir mesafede ve çekirdeklerdeki parçacıklar arasında etkilidir. Bu bir soru doğurur. Bütün kuvvetler bu kadar farklıysa neden hepsinin aynı kökenden geldiğine inanıyoruz? Bu soruyu cevaplayabilmek için önce kütleçekimle ilgili fikirlerimizi ve nerelerde yetersiz kaldıklarını incelememiz gerekir.

## Kütleçekimin Ehlileştirilmesi

Kuvvetlerin en zayıfı olan kütleçekim ilk ehlileştirilen kuvvet olmuştur. Newton ilk hamleyi evrensel kütleçekim kanunuyla yapmış, kütleyle sahip olan cisimlerin nasıl bir etkileşim içinde olacağını betimleyen bir formül sunmuştur. Newton'ın çizdiği şemaya göre, kütleçekimin çekim gücü gezegenlerin hareketlerini, şaşırtıcı derecede doğru bir biçimde açıklıyordu. Gelgelelim Newton'ın kütleçekimle ilgili fikirleri iki bakımdan yetersiz kalıyordu. Birincisi, kütleçekimle ilgili bir betimleme sunuyor; ama kütleçekime bir *açıklama* getirmiyorlardı. İkincisi, kütleçekimin evrende nasıl işlediğini her yönüyle betimlemiyorlardı: Bazı olaylar açıklanmaya gelmiyordu.

Herhalde buna verilebilecek en meşhur örnek Merkür'ün perihelionunun gerilemesidir. Perihelion, eliptik bir yörüngede, yörüngesinde olunan şeye en yaklaşılacak noktadır. Merkür'ün Güneş'in etrafındaki yolculuğunda da birbirini izleyen yörüngelerde değişen, yani gerileyen böyle bir nokta

vardır. Gerileme, güneş sistemindeki başka gezegenlerin kütleçekim güçlerinin bir sonucudur; 1845'te Fransız astronom Urbain Joseph Le Verrier Newton kanununu kullanarak bunun ne olduğunu bulmaya çalışmıştı. Görünüşe bakılırsa bir hata vardı. Le Verrier'nin hesaplaması gözlenen gerilemeyi, bir yüzyıllık yayda 43 saniyeyle kaçırmıştı. Her yüzyılda bir hesaplamalar, bir derecenin sadece yüzde biri kadar hata veriyordu; ama hatalıydılar işte.

Talihe bakın ki Einstein'ın genel görelilik kuramı gerekli düzeltmenin yapılmasını sağladı. Görelilik kuramı, kütleçekim alanlarının kütle ile enerjinin evrenin dokusu üzerindeki etkilerinden doğduğunu söyler; kütleçekim uzay-zamanın bükülmesinden kaynaklanır. Görelilik kuramı şaşırtıcı derecede başarılı bir kuramdır, aşamadığı deneysel bir test olmamıştır. Yine de görelilik kuramının evrende gördüklerimizi betimlemekteki büyük başarısına rağmen, kütleçekimin nedenine ve nasılına ilişkin uygun bir açıklama ele geçmezliğini korumaktadır. Elimizde böyle bir açıklama olana dek, kütleçekimin aslında bu kadar zayıf olduğundan emin olamayız; özellikle de bilime yenik düşen bir sonraki kuvveti incelediğimizde.

## Yüklü ve Hazır

Elektromanyetizma kütleçekimden çok daha güçlü bir kuvvettir. İki elektron alın: Aralarındaki elektromanyetik itme kütleçekimden kaynaklanan karşılıklı çekimlerinden 1043 kat daha güçlüdür. Fakat bu görelî güç bir yanılsama olabilir. İpucu, elektromanyetizmanın iki kuramın birleşimi olmasında yatmaktadır: Elektrik ve manyetizma.

1840'larda İngiliz fizikçi Michael Faraday demir dolguların bir mıknatısın etrafına saçıldıklarında neden doğrular oluşturduğunu açıklamak üzere bir alan kavramını ortaya attı. Faraday'e göre bu "kuvvet hatları" mıknatısın etrafındaki uzamın bazı fiziksel özellikleriyle ilişkiliydi. Bu alanla elektrik arasındaki bağlantı da kolayca kuruldu: Faraday, değişen bir manyetik alanın bir elektrik alanı yarattığını da keşfetti.

Fakat bir karışıklık vardı. Faraday'in dostu James Clark Maxwell, Faraday'in keşiflerini ve bunları betimleyen denklemleri bir araya getirmeye çalıştığında, sonucu, ancak bu bileşime bir etken daha eklediğinde anlamlı kılmayı başardı. Manyetik alanları değiştirmek elektrik alanları yaratmakla kalmıyordu. Tersine de geçerli olmalıydı: Maxwell elektrik alanlarını değiştirmenin de manyetik alanlar yaratacağını söylüyordu.

Maxwell'in yeni denklemleri güzel bir tutarlılıkla ışıldıyordu: Elektrik ve manyetizma aynı madalyonun iki yüzüydü. Bu birleşme başka bir güzel sonuca yol açmıştı. Maxwell manyetik bir alanı değiştirmenin bir elektrik alanı yaratmasına, bu elektrik alanının bir manyetik alan yaratmasına, bunun sonsuza dek böyle devam edip gitmesine baktığında, elektromanyetik ışımının kökenini keşfettiğini fark etti. Dahası bu karışıklığın yayılma hızı ışık hızıyla aynıydı. Böylece ışığın elektromanyetik bir dalga olduğu derhal açıklık kazanmış oldu.

Bu keşfin önemini abartmamak zordur. Bu keşif, elektromanyetik tayfın, radyo dalgalarının ve gama ışınlarının, arada kalan her şeyin keşfedilmesini sağladı. Enerjinin uzayda bir noktadan diğerine nasıl aktarılabilirliğini gösterdi; hiçbir fiziksel kaynağı olmayan bazı hayali etkileşimlerle ilgili fikirleri bertaraf etti. Herhalde en önemlisi de fizikte kısa süre sonra gelecek bir devrime zemin hazırlaması oldu. Işınım kaynağı gözlemciye göre hareket halinde olduğunda Maxwell'in denklemleri işe yaramıyordu; bu gözlem Einstein'ı bu anormalliği çözmeye yöneltti ve 1905'te özel görelilik kuramı geldi (bkz. *Zaman Nedir?*). Dahası elektrik ile manyetizmanın birleşmesi yalnızca başlangıçtı. Artık

doğanın bir başka kuvvetinin de aynı elden çıktığını biliyoruz.

## Einstein'ın Yumuşak Karnı

Birleşme fikri Einstein'ı çok güçlü bir biçimde harekete geçirmişti. Görelilik kuramının başarısının ardından Einstein ömrünü tıpkı kütleçekimle ilgili olarak yaptığı gibi, elektromanyetizmayı uzay-zaman geometrisinden çekip çıkaracak “birleşik bir alan kuramı” inşa etmeye çalışmakla geçirdi. Sonuçta o ve az sayıdaki takipçisi kuantum kuramının gelişimini görmezden geldiler. Einstein kuantum kuramını hiç sevmedi, kaybolup gitmesini umuyordu.

Ama öyle olmadı ve bu yeni kuramın araştırmaları, parçacık fiziğinin savaş sonrasındaki hızlı gelişimiyle birlikte iki yeni kuvvetin varlığına işaret etti: güçlü ve zayıf nükleer kuvvetler. Einstein bu kuvvetlerle hiç uğraşmamış, yalnızca elektromanyetizma ve kütleçekimle oynamayı sürdürmüştü. 1955'te öldüğünde, fizik onsuz ilerlemiş bulunuyordu.

Bu utanç vericidir; çünkü bugün çekirdekdeki parçacıklar –nötron ve proton – arasında etkili olan ve 10-17 metre gibi son derece kısa bir etki aralığı olan zayıf nükleer kuvvetin elektromanyetik kuvvetle yakından ilgili olduğunu biliyoruz. Bunu biliyoruz; çünkü “beta” ışınımının gerisinde zayıf kuvvet vardır; beta ışınımında bir atom bir elektron ya da elektronun pozitif yüklü karşıt parçacığı olan pozitron salar. Beta ışınımıyla bir elektronun salınması bir nötronun bir protona dönmesini gerektirir; bu ancak zayıf kuvvetin kaynağı olan “W bozonu” en başta salınırsa gerçekleşir: Daha sonra çürüyüp elektron oluşturan parçacık W bozonudur.

Zayıf kuvvet ile elektromanyetik kuvvetin, fizikçilerin “kendiliğinden simetri kırılması” olarak bildiği aynı sürecin sonucu olduğunu fark etmemiz, aradaki bağlantıyı daha da güçlendirmiştir. Bu durum biraz, birbirine yabancı insanlardan oluşan bir kalabalığı bir odada topladığınızda olup bitenleri andırır. Yabancılar kendi aralarında konuştuğunda, bazıları bir alanda, bazıları bir başka alanda ortak noktaları olduğunu anlayacak, yeterince zaman tanındığında farklı şeylerden konuşan farklı gruplar oluşturacaklardır. Başta, “simetri” vardır: Yabancıları birbirinden ayırmanızı, gruplandırmanızı sağlayacak hiçbir şey yoktur. Ama onlar konuştuğunda, bu simetri kendiliğinden kırılır ve gruplar oluşur.

Steven Weinberg, Sheldon Glashow ve Abdus Salaam 1960'larda aynı kendiliğinden simetri kırılma sürecinin, başka bir kuvvetten elektromanyetik kuvvet ile zayıf kuvveti yarattığı göstermiştir. Onlar bu kuvvete “elektrozayıf kuvvet” demişler ve bu kuvvetin, parçalanmamış bir biçimde evrenin başlangıcındaki yüksek enerji koşullarında var olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu çalışma bir başarıdır ve üçlüye 1979 Nobel Fizik Ödülü'nü kazandırmıştır. Kuram özgün kuramsal öngörülerde bulunuyordu: W ve Z bozonlarının varlığı gibi ve bunlar da varsayılan bütün özellikleriyle birlikte 1983'te bulundu.

Fakat belki de en önemlisi, bu atılım, zayıf kuvvet kısa mesafelerde elektrik yükü olmayan nötronlar üzerinde, elektromanyetik kuvvet ise muazzam mesafelerde ve elektrik yüklü parçacıklar üzerinde etkili olsa da görünürde birbirinden farklı olan kuvvetlerin esas itibarıyla o kadar da farklı olmadığı anlamına geliyordu. Aslına bakarsanız, hangi kuvvetin en güçlü kuvvet olduğunu söyleyememeyi bir kenara bırakın, kendimizi birden şok edici bir soruyla karşı karşıya bulduk.

Elektromanyetik kuvvet ve zayıf kuvvet bir zamanlar aynı kuvvet idiyse kendiliğinden simetri kırılmasının doğadaki bütün kuvvetlere yol açmadığını kim söyleyebilirdi? Muhtemelen bütün

kuvvetler tek bir kadim kuvvetin tezahürü olduğu için kuvvetlerden birinin en güçlü kuvvet olduğunu söyleyemiyorduk. Bu olasılığı araştırmak için geride kalan unsuru değerlendirmemiz gerekiyordu: Güçlü nükleer kuvveti.

## Nükleer Bağ

Tıpkı, beta-çürümenin açıklanabilmesi için zayıf kuvvetin mevcut olmasının gerekmesi gibi, çekirdekdeki protonlar arasındaki karşılıklı itiş güçlü kuvveti zorunlu kılmaktadır, aksi takdirde çekirdek bir arada tutulamazdı. “Güçlü” bu kuvvet için uygun bir isimdir: Öyle görünüyor ki bu kuvvet, çekirdeği parçalayabilecek güçte olan elektromanyetik kuvvetten yüz kat daha güçlüdür. Gelgelelim güçlü kuvvetin gücünü ölçmek, onu ehlileştirmenin kolay kısmıydı: Bu kuvvetin varlığını açıklamak çok daha zordu. Atom çekirdeğinin bir arada durabilmesinin tek sebebinin böyle muazzam bir kuvvet olduğunu bilmek yetmez. Bu kuvveti yaratan nedir?

Bu güçlü kuvvetin ardındaki fikirler 1970’lerin başında geliştirilmiştir. Kuarkların atom çekirdeğindeki nötronlar ve protonları oluşturduğu biliniyordu. Her kuarkın belirgin bir niteliği vardır, fizikçiler buna o kuarkın rengi der. Bu yüzden güçlü kuvveti kuarklara bağlayan kurama “kuantum kromodinamiği”, yani QCD denmiştir. QCD’ye göre güçlü kuvvet kuarkları birbirine, elektromanyetik ve kütleçekim kuvvetlerinin tersine mesafenin artmasıyla birlikte azalmayan bir etkileşimle bağlar. Kuarklar birbirinden uzaklaşırken sanki bir zemberekle birbirlerine bağlıymışlar gibi bu kuvvet güçlenir.

QCD denklemlerinde ortaya çıkan bu tuhaf özellik, güçlü kuvvete, nerede bulunurlarsa bulunsunlar kuarkları birbirine bağlama gücü verir. Birçok araştırmaya rağmen, tek başına dolanan bir kuark bulamamış olmamız, bu özelliğin doğasını yansıtır. QCD güçlü kuvvetin glüon diye bilinen bir bozon tarafından yaratıldığını söyler. Glüonlar ilk kez 1979’da yapılan deneylerde görülmüştür. Fakat bu kuram o tarihe gelindiğinde zaten sağlam bir dayanağa sahip bulunuyordu: Kuarklar, öngörülen niteliklere sahip olarak 1960’ların sonunda ve 1970’lerin başında parçacık hızlandırıcılarda tespit edilmeye başladığında QCD de kanıtlanmış bir kuram sayılmıştı.

Fakat fizikçileri asıl heyecanlandıran QCD’nin elektrozayıf kuvvetle aynı simetri kırılma fikrine dayanarak kurulmuş olmasıydı. Maddenin davranışına ilişkin tek bir tanım içinde, “büyük birleşik kuram” çerçevesinde birbirleriyle yakından ilişkili olarak bir araya getirilebilir olmaları tümüyle akla yatkın görünüyordu. Bu arayışın sönmeye yüz tuttuğu nokta da burası oldu. Otuz yıl süren araştırmaların ardından güçlü kuvvetin gerçekten elektrozayıf kuvvetle aynı ekipten olup olmadığına hâlâ emin değiliz.

## Birleşme Yolunda Mücadele

Sorun şudur ki birleşme doğrudan olmaktan çok uzaktır. Birleşme için, birbirine yabancı insanların bir odada toplanması senaryosunda olduğu gibi başka bir simetri gerekmektedir; fakat bu kez yabancıların sayısı daha da fazladır. Bu birbirinden farkı olmayan yabancıların bir şekilde kendiliğinden ayrılıp beş farklı tipte parçacığı –farklı renkte üç kuark, elektron ve onunla ilişkili nötrino– ve üç kuvveti tanımlıyor olması gerekmektedir.

Birleşmeyi Dünya üzerinde yeniden yaratmak neredeyse imkânsızdır: Bu simetri kırılmasının enerjisine ulaşmak, en güçlü atom çarpıştırıcımız olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’ndan 100 milyar kat daha güçlü parçacık hızlandırıcılarının varlığını gerektirmektedir. Gelgelelim bu fikri sınamanın

başka yolları vardır. Bütün büyük birleşik kuramlara göre, kuarkların değişip elektron ve nötrino oluşturabiliyor olmaları gerekir, fizikçilerin bu büyük kuram için en iyi görünen adayları (ortaya çıkardığı beş parçacık yüzünden SU(5) olarak bilinir) da böyle bir sürece sahiptir. Bu kuram protonun bir tür radyoaktif çürümeye girdiğini söyler ve bunun ne sıklıkla gerçekleşeceğine dair bir öngöründe bulunur.

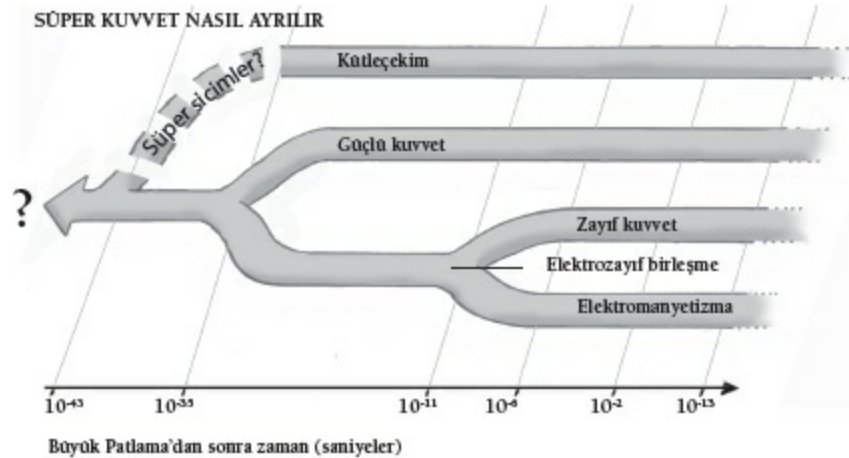
Fakat kuramın yaptığı tahminin çok yanlış çıkması utanç vericidir. Kuram bir protonun çürümeden evvel yaklaşık 1033 yıl yaşayacağını söyler. Yaklaşık çeyrek yüzyıl önce, fizikçiler son derece arındırılmış suyla dolu devasa tanklar inşa ettiler; tanklar böyle bir olayın gerçekleşmesini kayıt altına alacak cihazlarla çevriliydi. Kurama ve tanklarda bulunan proton sayısına bağlı olarak her yıl birkaç çürüme gerçekleşmesi bekleniyordu. Gelgelelim şimdiye kadar fizikçiler hiçbir şey görmemişlerdir. Fakat bir şansımız daha var ve bu Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda gözlenebilir. Bu şansa "süpersimetri" deniyor.

## SUSY Sesleniyor

Süpersimetri fizikçilerin parçacıkları iki gruba ayırmasından kaynaklanır: Elektronlar ve kuarklar gibi, maddeyi oluşturan parçacıklara fermiyonlar denir; foton ve glüon gibi kuvvetleri oluşturan parçacıklara da bozon denir. İki farklı tipteki bu parçacıklar, iki farklı kurallar dizisini izler. Süpersimetri (supersymmetry) yani SUSY de her bir parçacığın diğer grupta herhangi bir deneyde aynı biçimde davranacak bir "süper eşi" olduğunu söyler.

Bu mümkündür; çünkü fermiyonlar ile bozonlar arasındaki temel farklılık spin olarak bilinen kuantum özelliğinden doğar. Bozonların spini tam sayıdır -1, 2, 3 vb.- fermiyonların spini ise tam sayıların yarısıdır:  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{2}$  vb. SUSY, bakış açısında bir değişimi gerektirir: Bir saate önden ya da arkadan bakmak gibi bir değişimi. Bakış açısındaki bu değişiklik kuantum spinini değiştirir (tıpkı arkadan bakıldığında saatin kollarının dönüşünün farklı bir biçimde anlaşılmasında olduğu gibi); fakat elektrik yükü ya da kuarkın rengi gibi başka şeyleri değiştirmez.

Bu kulağa, uygunluk sağlamaya yönelik bir kurgu gibi gelebilir; fakat fizikte en iyi fikirler arasında yer alan son derece saygın bir düşünme biçimidir. Gelgelelim tabii ki can alıcı soru, bunun doğru olup olmadığıdır. Spinin yanı sıra, süper eş parçacıkların başka bir özelliği daha değişir: Kütleleri. Süper eşler, bildiğimiz parçacık kümesindeki parçacıklardan çok çok daha ağırdır. Bu da  $E=mc^2$  sayesinde, bu süper eşlerin ancak yüksek enerjilerde var olabileceği anlamına gelir. Şükürler olsun ki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın 14 TeV'lik enerjisi, bu parçacıkların yaklaşık 1TeV'de ortaya çıkan en hafiflerini gözlemek için yeterli olacaktır.





Bu durum kulağa ümit verici gelse de bu parçacıkları tespit etmek hâlâ zordur. Normal maddelerle pek etkileşim kurmazlar; makineden de neredeyse geride hiç iz bırakmadan uçup gideceklerdir. Bu da süpersimetriye dair tek ipucunun, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı detektörlerinden bir parça enerjinin kaybolması olabileceği anlamına gelir. Başka bazı kuramlar da bazı normal parçacıkların kaybolup başka “gizli” gerçeklik boyutlarına geçebileceğini ileri sürdüğü için, bu durum hatalı evetler ve kaçırılmış manzaralar için bir yol tarifidir.

Fakat süpersimetrik parçacıkları sorgulanamaz bir biçimde görececek olursak doğanın kuvvetleriyle ilgili büyük birleşik kuramın sağlam bir zemine bastığından emin olabiliriz. Güçlü, zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerin ortak bir kaynaktan, Yunanlıların deyişiyle “ilk hareket ettirici”den çıktığını varsaymak tümüyle akla yatkın olacaktır. Gelgelelim merhemin içinde yüzen bir sinek vardır. Kütleçekime ne buyrulur? Kütleçekim de birleşmenin bir parçası mıdır, yoksa ayrı bir oluşum mudur? En güçlü kuvvetin var olduğunu söyleyemiyorsak da en azından kütleçekimin en zayıf kuvvet olduğunu söyleyebilir miyiz?

Kütleçekim kesinlikle zayıftır. Kuvvetler için, birleşebilecekleri enerji düzeyini gösteren muhtemel birleşme grafiğini çizdiğimizde, grafiğiniz bilinen evrenden büyük değilse kütleçekimi bu grafiğe yerleştirmek zordur. Diğer kuvvetler 100 faktör ya da yaklaşık bir değerdeki uzaklıktan itibaren birleşmeye başlarken, kütleçekim bu ölçeğin dışında yer alır. Fakat buradan bir çıkış yolu vardır. Muazzam derecede teknik bir çözümdür; ama bu teknik suyu uçuracak olduğumuzda, bu çözüm kütleçekime bağlı etkileşimin kütleyle bağlı olduğunu, kütlelerin de dahil olan enerjiyle doğru orantılı olduğunu söyler. SUSY tablosunda, yüksek enerjili birleşme koşullarını değerlendirdiğimizde, kütleçekim tabloya cezbedici bir ölçekte, tam olarak değil ama neredeyse diğer kuvvetlerin birleştiği noktada girmektedir.

Bu tam anlamıyla ikna edici bir cevap değildir; ama kütleçekim ile doğadaki başka bütün kuvvetlerin tek bir nihai kuvvetten doğmuş olabileceğini ileri sürmektedir. Bu süper kuvvet yalnızca evrenin oluşumunu izleyen ilk anlarda var olmuştur. Bu durumda hangi kuvvetlerin daha güçlü olduğunu sormak, hangi parçacıkların parçacığa daha benzediğini sormaktan farklı değildir. Kuvvetler birbirinden farklı olsalar da hepsi de bir tek özelliğin veçheleridir. Kütleçekim elektromanyetizmaya karşı işlemeyecektir; öyle görünüyor ki aynı cepheden mücadeleye girmişlerdir.

---

## BEŞİNCİ ELEMENT

*Kadim Yunanlılar dünyanın dört elementten oluştuğunu düşünüyorlardı: Toprak, ateş, su ve hava. Ama “öz” dedikleri beşinci bir bileşenin de var olduğu tahmininde bulunmuşlardı. Yunanlılar öze metafizik bir saflık bahşetmişlerdi; “öz” bir şekilde daha “temel” bir elementti; fakat hiçbir zaman öz hakkında daha fazlasını söylememişlerdi. Bugün fizikçiler de benzer bir durumdadırlar.*

*Uzaktaki süpernovalardan gelen ışığın gözlenmesi, evrenin genişlemesinin ivme kazandığını düşündürmektedir. Bu da bilinmeyen bir kuvvetin –kara enerji olarak bilinir– kozmolojik ölçekte iş başında olduğu anlamına gelmektedir. Fizikçilerin kara enerjinin kaynağıyla ilgili en iyi tahmini, bu kaynağın boş uzayın “boşluğundaki” enerji dalgalanmaları olduğunu söylemek olmuştur; fakat hesaplamaları onlara aksinin söz konusu olduğunu göstermiştir. Toplamaları*

yaptıklarında, kuram onlara ivme kazanmış olan genişleme için 10120 kat daha büyük bir değer vermiştir.

*Fizik tarihinin en utanç verici sonuçlarından biri addedilmiştir bu. Sorunu çözmek için önerilen çözümlerden biri, ivmelenmeye aslında boşlukta faaliyet gösteren henüz keşfedilmemiş bir kuvvetin neden olduğu iddiası olmuştur. Fizikçilerin elinde bu kuvvetin nereden geldiğine dair fazla ipucu bulunmasa da en azından buna verecek bir isim bulmuşlardır: Öz.*

---

# GERÇEKLİĞİN GERÇEK DOĞASI NEDİR?

*Kuantum dünyasının ötesinde enformasyon âlemi yatmaktadır*

*Fiziğin cevapladığı en son soru bu olacaktır, tabii eğer mümkünse. Kuvvetlere dair büyük bir bileşik kuram kurmak iyidir güzeldir; kuantum kütleçekiminin, yani çok küçük olanla ilgili bilimi çok büyük olanla ilgili bilimle birleştirecek kuramın izini sürmek heyecan verici ve yararlıdır. Ama bunların hiçbiri temel soruyu cevaplamaz: Gerçekliği oluşturan nedir?*

Bazıları bu sorunun bilimin erimi dışına uzandığını savunabilir. Fakat görünürde imkânsız sorulara cevaplar aramak fiziğin doğasında vardır. Fizik tarihi sonradan çok mümkün olduğu anlaşılan “imkânsız” işlerle doludur. Arşimet’in yenilikçi düşünme biçimiyle kadim dünyayı hayrete düşürdüğünü unutmak kolaydır. Arşimet, kralın tacının som altından yapıp yapılmadığını söylemenin bir yolunu bulmuş olsa da olmasa da hayatının Roma hükümdarlığı tarafından korunmasını sağlamaya yetecek bir bilimsel şöhret kazanmıştır. Keza, Newton’ın kütleçekimin nasıl işlediğine ilişkin betimlemesi bugün bize apaçık görünse de formüle edilmesi o dönemde bir güç denemesiydi.

Aziz Augustinus manyetizmayı bir mucizeden farksız anlatmıştı; ama artık elektromanyetik fenomenler yığınının arkasındaki mikroskobik süreçleri biliyoruz. Geçmişte yapılan fizik bugün biraz hayal gücünden yoksun görünüyor; gerçekten de kavramlar bize o kadar düz geliyor ki birçoğunu çocukken öğreniyoruz. Peki, geleceğin çocukları da gerçekliğin temel doğasına ilişkin derslerde sıkılacak mı?

## Mükemmel Bir Âlem

Gerçekliğin doğası, insanların en azından kadim Yunanlılardan bu yana incelemeye çalıştığı bir yoldur; gerçekliğin doğasına dair kendi arayışımızın izlerini de Yunanlıların zamanına kadar götürebiliriz. Yunan’da, bu soruyla ilgili birkaç düşünce ekolü bulunuyordu. Herhalde en etkilileri de Platon’du; Platon fiziksel oluşumların mükemmel soyutlamalarının bulunduğu bir âleme inanıyordu. Maddi dünyadaki her şey varlığını bu “ideal biçimler”den alıyordu ve her şey ideal nesnenin bir gölgesinden başka bir şey değildi.



“O halde Toprak’a kübik Şekli verelim, dördünün

en hareketsizdir ve bütün cisimlerin en

şekillendirilebilir olanıdır; en kararlı temele sahip olan

mecburen böyle bir doğaya sahip olacaktır.”

**PLATON**

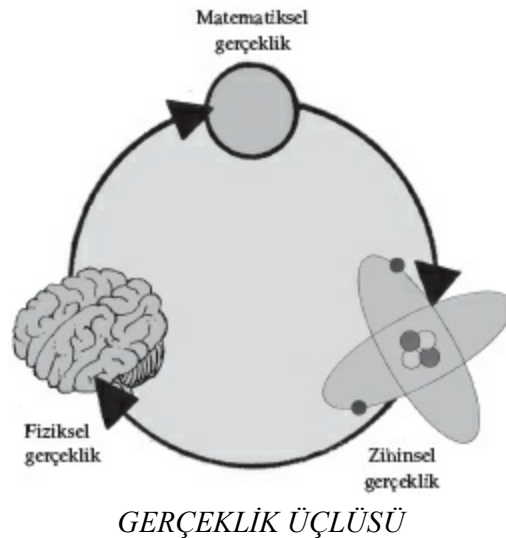


Ancak ve ancak zihnin eğitilmesi yoluyla erişilebilen bu âlem, yalnızca ağaçlar ve dağlar gibi fiziksel nesnelere ilgili değildir. Aynı zamanda matematiksel fikirler için de geçerlidir: Platon ideal katıların bulunduğu ideal bir matematiksel gerçeklik hayal etmişti. Bu beş geometrik şekil matematiksel olanla, fiziksel olan arasında bir bağlantı yaratıyordu. Örneğin *Timaeus* başlıklı diyalogda Platon küp şeklini Toprak'la ilişkilendirmişti: “O halde Toprak'a kübik şekli verelim, dördünün en hareketsizidir ve bütün cisimlerin en şekillendirilebilir olanıdır; en kararlı temele sahip olan mecburen böyle bir doğaya sahip olacaktır.” Benzer bir mantıkla tetrahedronu ateşle, ikosahedronu suyla, oktahedronu havayla, dodekahedronu “gizemli beşinci elementle”, yani özle ilişkilendirmişti.

Kulağa mistik bir laf salatası gibi gelebilirse de idealler âlemi kavrayışını tümüyle bir kenara bırakamayız. Modern fizikte, gerçekliğin nihai doğasına ilişkin arayışta kullanılmaya başlanmış bütün araçların kökleri matematiğe uzanmaktadır; matematikçiler, matematiğin zihinlerimizin bir icadını mı, yoksa matematikçilerin keşifler yapmak üzere dolandığı soyut bir dünya mı olduğu konusunda hâlâ bir anlaşmaya varamamıştır.

Matematikçi Roger Penrose, gerçekliğin ne olduğunu anlamak istiyorsak önce belki de bu temel meseleyi halletmemiz gerekeceğini söylemiştir. Penrose'un iddiasına göre, gerçekliğe ilişkin en iyi tanımımız bir tür üçlüyü içerebilir: İçlerinde sadece fiziksel gerçeklik seçilebilir; çünkü “zihinsel gerçeklik” –yani bilinçlilik– beyinlerimiz tarafından kurulur ve ancak denklemlerimiz ile fizik kanunlarımızın fiziksel dünyamıza paralel olarak var olan bir “matematiksel gerçeklik”ten geldiğine inanmamız halinde tanımlanabilir.

Penrose kağıt-makas-taş oyununun felsefi versiyonunda, üç gerçeklik arasında döngüsel bir bağımlılık olduğunu ileri sürer. Elektron gibi temel fiziksel parçacıkları ancak matematiksel denklemler üzerinden betimleyebiliriz, dolayısıyla matematiksel gerçeklik fiziksel gerçekliğe basar. Fakat beynin nöronları şeklindeki fiziksel gerçeklik, zihinsel gerçekliği doğurur. Matematik soyut olduğu için zihinsel gerçeklik matematiksel gerçekliği doğurur. Matematiksel fizikle, fiziksel zihinsel, zihinsel matematikle basar.





Gelgelelim, öyle görünmektedir ki bu üç gerçeklik kavrayışının da ötesinde yatan bir şey vardır; gerçeğin nihai doğasına ilişkin kavrayışımızı çok daha soyut bir âleme doğru iten bir şey. Bu şey enformasyondur. Enformasyonu zihinlerimizde tutarız, enformasyon matematiksel olarak yönlendirilebilir ve her zaman fiziksel şeylerle birleştirilebilir: Enformasyon üzerine oturacağı bir şey –kağıt üzerindeki bir mürekkep lekesi, DNA, bir ışık fotonu– olmadan var olamaz. İşte bu yüzden, IBM araştırmacısı Rolf Landauer bugün hâlâ kulağa tuhaf gelen bir söz sarf etmiştir: “Enformasyon fizikseldir.”

<>

“Enformasyon fizikseldir.”

**ROLF LANDAUER**



Landauer bu sözle enformasyonun soyut bir kavram, iletişimle aktarılan şeye ilişkin münasip bir kısaltma olmadığını kast ediyordu. Enformasyon nerede karşınıza çıkarsa çıksın, ayrılmaz bir biçimde fiziksel bir sisteme bağlıdır. Bilgi bir DNA şeridinde moleküllerin dizilimiyle taşınır, hayatın yayılmasını ve evrilmesini sağlar. Bir elektrik devresinde, kondansatördeki elektrik yükünde şifrelenir; bilgisayar dediğimiz enformasyon depolama ve işleme aygıtlarını yapmamızı mümkün kılar. Bir ışık fotonunun kuantum haline yazılır, telefon konuşmalarının optik fiberlerle gönderilmesini sağlar. Enformasyon nerede olursa olsun, fiziksel bir biçim alır.

Bu fikir “Landauer ilkesi” olarak bilinir ve enformasyon hakkında devrimci bir düşünme biçiminin kıvılcımını çakmıştır. Enformasyon fizikselse fiziksel olan her şey aslında enformasyon olabilir mi? Bunun doğruluğuna inanmak için elimizde en az üç tane iyi gerekçe bulunmaktadır. İlki, görünüşe bakılırsa enformasyonun evrene hükmeden kanunlara ürkütücü bir tuhaflıkla bağlı olmasıdır.

### Enformasyonun Hızı

Herhalde kozmosa dair anlayışımızın en derinlerine kök salmış kavrayış, özel görelilik kanununun ortaya koyduğu aşılabilir bir hız sınırı olduğu iddiasıdır: Bu hız sınırı ışık hızıdır (bkz. *Zaman Nedir?*). Bu kavrayış astronomi ve kozmolojide sayılamayacak kadar çok fenomeni anlamamızı sağlamıştır. Fakat ışık hızının sınırlı olması, enformasyon hızının sınırlı olmasından kaynaklanıyor olabilir. Görelilik kuramı aslında enformasyon kuramının bir yan ürünü müdür?

Enformasyon kuramı sağlam bir şey olarak başlamamıştır. 1940’larda Bell Laboratuvarları’nda çalışan matematikçi ve mühendis Claude Shannon tarafından geliştirilmiştir. Shannon’ın çalışmasının ana eksenini, enformasyonun bir telefon telinde ya da bir elektrik devresinde sıkıştırılma hızını artıracak yollar bulmak oluşturuyordu. Shannon bundan en iyi şekilde yararlanmak için enformasyonu “sıkıştırma” teknikleri geliştirmiş, aynı zamanda temel bazı sınırlar bulmuştu. Her iletişim kanalının azami bir limiti olduğunu, enformasyonun aktarım sırasında kaybolmadan gönderilebileceği bir azami verimlilik olduğunu bulmuştu.

Enformasyonun ölçüsü ikili sayı sisteminin (binary digit) kısaltılmış hali olan “bit”tir. Örneğin bilgisayarlar ikili sayı sistemiyle işler: Her rakam, her yönerge bir 0’lar ve 1’ler dizisi olarak şifrelenir. Enformasyon iki seçenekten fazlasını sunan biçimlerde depolanabilirse de – örneğin DNA dört “temel” molekül kullanır: adenin, thymin, sitosin, guanin– bunlar her zaman ikili bir sayı sisteminden kurulabilir. İki seçenekli bit sistemi enformasyonu depolamanın ve aktarmanın en basit, en temel yoludur.

Enformasyon kuramındaki diğer önemli etken, enformasyon kanalının “bant genişliğidir.” İster bir internet bağlantısı olsun, ister bilgisayarınızda hafıza ile işlemci arasındaki bağlantı olsun bant genişliği her saniye kaç bit aktarılabilirliğinin ölçüsünü ortaya koyar. Bütün enformasyon kanalları, enformasyonun aktarım sırasında hatalara yol açabilecek belli miktarda gürültü içerecektir. Örneğin NASA Dünya’nın atmosferi yoluyla radyo sinyalleri gönderdiğinde bu sinyal atmosfer koşullarıyla değişebilir, 0’lar 1’e, 1’ler 0’a dönüşebilir.

Shannon bunun üzerinde çalışmış, belli bir sinyal-gürültü oranı ve bant genişliğinde, enformasyonun kanaldan kayıpsız aktarılmasının bir üst sınırı olduğunu ortaya koymuştur. Son cep

telefonu ve uydu televizyonu sistemleri bu “Shannon sınırının” yüzde 1’i içinde çalışmaktadır. Gelgelelim bu sınıra yaklaşamazlar ya da onu aşamazlar. Durum biraz görelilik kuramında ışık hızına benzer: Bu temel sınıra ne kadar yaklaşırsanız daha iyisini yapmak o kadar zorlaşır.

Enformasyon neden ışık hızına benzemek zorundadır? Bunun sebebi tıpkı ışık gibi, enformasyonun da fiziksel gerçekliğin temelinde yatan yapıyla ilişkili olması olabilir mi? Sayıları giderek artmakta olan araştırmacılar, özellikle de kara deliklerle ilgili araştırmalar yürütenler kesinlikle buna inanıyor.

## Enformasyon Nereye Gitti?

Kara delikler, enformasyonun kısmen gerçekliğin doğasıyla ilgili sorumuzun cevabını oluşturduğunu düşünmek için elimizdeki ikinci gerekçedir. Bir kara deliği çevreleyen, “olay ufku” diye bilinen küresel bölgeye giren hiçbir şey buradan çıkamaz. Bu da kara deliklerin aslında enformasyonla dolu olduğu anlamına gelir. Yuttukları her şeyde atomik durumlar, parçacıkların spinleri vs. olarak şifrelenmiş enformasyon vardır. Peki, bu enformasyona ne olur?

1970’lerde Stephen Hawking kara deliklerin “Hawking ışınımı” salarak yavaş yavaş buharlaştığını gösterdi. Sorun şudur ki bu ışınım hiçbir enformasyon içermez. Fizik kanunları, tıpkı enerji gibi enformasyonun da ortadan kaldırılamayacağını buyurur; bu da enformasyonun bir yere gitmesi gerektiği anlamına gelir. Yıllarca süren tartışmaların ardından, fizikçiler artık enformasyonun, kara deliğin “olay ufku”ndaki, içeriye düşen madde ya da ışık için geri dönüşün olmadığı noktadaki uzay ve zamanın mikroskobik yapısına şifrelendiğine inanıyor.

Olay ufku iki boyutlu bir yapı –kara deliği çevreleyen kürenin yüzeyi– olduğundan bu, atomlar gibi üç boyutlu nesnelere betimleyen enformasyonun iki boyutlu bir yüzey üzerine şifrelenebileceği anlamına gelmektedir. Bazı araştırmacılar bu fikirden yola çıkarak bütün bir evrenin aynı biçimde gözlenebileceğini göstermişlerdir. Evrenimizin sınırı esasen, bir kürenin iki boyutlu yüzeyidir. Kürenin içinde varmış gibi görünen enformasyon aslında onu çevreleyen iki boyutlu yüzey üzerinde tutuluyor olabilir. Tıpkı görünürde üç boyutlu bir hologramın, ışığın iki boyutlu bir yüzey üzerine titiz biçimde tasarlanarak yansıtılmasının ürünü olması gibi, bizim üç boyutlu gerçekliğimiz de evrenin kenarında tutulan enformasyondan yansıtılan bir hologram olabilir pekâlâ. Başka bir deyişle fiziksel olduğunu düşündüğünüz her şey enformasyondan kaynaklanmaktadır.

Bu fikrin deneysel olarak desteklendiğini gösteren bir emare bile vardır. 2008’de ABD’li parçacık fizikçisi Craig Hogan holografik yansıma fikrini nasıl sınavacağı sorununu çözmeye çalışıyordu. Evrenin sınırının ancak sınırlı miktarda bilgi tutabileceğini ve enformasyon evrenin üç boyutlu uzamına yansıtıldığında bu sınırın bizim fiziksel gerçekliğimizde bir tür çözünürlük etkisi olarak tezahür edebileceğini ortaya çıkardı. Hogan yeterince küçük ölçeklerde görebilecek olsak aslında noktalar göreceğimizi, uzay ve zamanın kumlu görüneceğini ileri sürdü.

Ölçeklerin işe dahil olması, bunun ancak sahip olduğumuz en duyarlı aygıtlarla tespit edilebileceği anlamına geliyor; yani iki kara deliğin çarpışması gibi şiddetli kozmolojik olayların sonucu uzay ve zamanda oluşan dalgacıkları araştıran kütleçekimsel dalga detektörleriyle. Böylece Hogan uzay-zamanın kumlu olmasının bu aygıtları nasıl etkileyeceğiyle ilgili güzel fikirlerini Almanya’nın Hanover kentinde bulunan kütleçekimsel bir dalga detektörü olan GEO600’deki bilim insanlarına gönderdi.

Anlaşıldığı üzere GEO600 araştırmacıları detektörlerindeki gürültü yüzünden sorunlar yaşıyorlardı. Ve bu gürültü, Hogan'ın beklediği sinyalle tam olarak aynı özellikleri gösteriyordu. Bu, Hogan'ın sorusunu çözüme bağlayan bir kanıt olmasa da “holografik ilke”nin –her şeyin nihayetinde evrenin kenarında tutulan enformasyondan oluşuyor olması– en azından ciddiye alınmaya değer olduğunu düşündürmektedir.

## Kuantum Enformasyonu

Enformasyonu bu kadar önemli addetmemizin üçüncü gerekçesi, kuantum kuramından, şeylerin atomaltı ölçeklerde nasıl davranacağına ilişkin elimizdeki en iyi kurallar dizisinden gelmektedir. Kuantum kuramı hayret verici derecede başarılı olmuş, tahminleri deneylerde hiç başarısızlığa uğramamıştır. Fakat gerçekliğin doğasını anlamaya verilebilecek nihai cevap değildir. Atomaltı sistemlerde ne olduğunu betimlemenin bir yolunu sunsa da şeylerin neden davrandıkları gibi davrandıklarını söylemez (bkz. *Schrödinger'in Kedisine Ne Oldu?*). Aslında bu kuram bizi, bu sistemlerin davranışlarının birçok yönüyle ilgili olarak kafa karışıklığı içinde bırakmaktadır; filozofların nesnel gerçekliğin yokluğu ve deneysel bilimin sınırlarıyla ilgili sözler sarf etmesine yol açmaktadır.

Kuantum kuramının bize verdiği sınırlı görüşün yarım düzine felsefi yorumu bulunmaktadır. Aralarında bir tercih yapmanın imkânı yoktur, çünkü hepsi de deneylerle tutarlıdır. Öyle görünüyor ki tek çıkış yolu, kuantum kuramının ardında neyin yattığını bulmaktır. Kuantum kuramıyla enformasyon arasında bariz bir bağlantı vardır: Bitler ve kuantum üzerinden, hem enformasyon kuramı hem kuantum kuramı temel bölünemez bir niceliğe dayanmaktadır. Fakat iki kuram arasında daha ince başka bir bağlantı da vardır. Kuantum dünyasının tuhaflığı, bir kuantum parçacığının taşıdığı enformasyon miktarının sınırlarından kaynaklanıyor olabilir.

Böyle düşünmemizin bir gerekçesi, bir kuantum sistemi hakkında mükemmel kesinlikte bir şeyler biliyorsanız hiç bilmediğiniz başka şeyler olduğunu söyleyen Heisenberg'in belirsizlik ilkesidir (bkz. *Her Şey Nihayetinde Rastgele midir?*). Heisenberg bu ilkeyi kuantum kuramının denklemlerinden çıkarmıştır ve şimdiye kadar da bunun “böyle olduğunu” kabul etmek zorunda kaldık. Gelgelelim enformasyon kuramının çeşitli yönlerini değerlendirerek biraz daha tatmin edici bir açıklamaya ulaşabiliriz.

Elektron gibi bir kuantum parçacığının spin denilen bir özelliği vardır; spin ikilidir (yukarı ve aşağı) ve üç uzamsal boyutun herhangi birinde ölçülebilir. Bir elektronun spini ancak bir bit enformasyon taşıyabiliyorsa elektron üzerinde yapılabilecek ilk ölçüm bu biti kullanacaktır; başka boyutlarda yapılan ölçümlerden gelecek başka spin enformasyonu yoktur. Daha sonra yapılacak böyle bir ölçümün vereceği sonuç rastgele olacaktır; Heisenberg'in belirsizlik ilkesi tam da bunu öngörür.

Enformasyon kuramının, muamma niteliği taşıyan kuantum dolaşıklığı fenomenini de anlamamızı sağlayabileceği yönünde işaretler vardır; kuantum dolaşıklığı iki parçacık arasında “tuhaf” bir bağlantıyı mümkün kılar. Dolaşıklık kesinlikle enformasyonun taşınması ve paylaşılmasıyla ilgilidir. Basit bir dille söyleyecek olursak, dolaşıklık iki parçacığın etkileşime girmesinin ardından, her parçacığın kuantum halinin –konumu, momentumu, spini vs.'nin tam tanımı– o parçacıkta kalmamasını, iki parçacık arasında paylaşılmasını buyurur.

Dolaşıklığın tuhaflığı parçacıkların “tanımsız” bir kuantum haline yerleşebilecek olmasında yatar. Tıpkı gözlem yapıncaya dek Schrödinger'in kedisinin diri ve ölü olmasında olduğu gibi (bkz.

*Schrödinger'in Kedisine Ne Oldu?*), biri spinlerini ölçüncüye kadar dolaşık çiftin spinleri karışık olabilir; aynı anda hem “yukarı” hem “aşağı” olabilirler.

Bir ölçüm bir parçacığı belli bir spine zorladığında, diğer parçacığın spini belirgin olacaktır. Einstein bundan nefret ediyordu; çünkü bir parçacığın gözlenmesi, birbirlerinden ne kadar uzak olurlarsa olsunlar diğerinin halini değiştirebilirmiş gibi görünüyordu (bkz. *Evreni Tek Bir Bakışla Değiştirebilir miyim?*). Fakat dolaşık bir parçacık çifti ancak sınırlı miktarda enformasyon taşıyabilirse, bu durum tuhaflıktan bir çıkış yolu açar.

Enformasyon kuramının kuantum versiyonu, dolaşık bir çiftin ancak iki bit enformasyon taşıyabileceğini söyler. Bu iki bit “X boyutunda ölçüldüğünde spinler aynıdır” ve “Y boyutunda ölçüldüğünde spinler birbirinin zıddıdır,” gibi bir şeyi şifreliyorsa, bu, parçacıkların ikisinin birden spin hallerine ilişkin bir tanım verecek; fakat tek tek parçacıkların spinleri hakkında bir enformasyona yer vermeyecektir.

İlk ölçümün rastgele bir sonuç veriyormuş gibi görünmesinin sebebi budur; fakat ikinci ölçümün sonucu mükemmel bir kesinlikle tahmin edilebilir. Parçacıklar arasında “tuhaf” bir enformasyon aktarımı varmış yanılması yaratsa da aslında ilk ölçüm bize daha fazla bilgi verir. İlk ölçümün sonucu ve spinler arasındaki bağlantının doğası dikkate alınarak ikinci parçacığın spini basit mantıkla çıkarılabilir.

Kuantum araştırmacıları, enformasyonun disiplinlerini anlamının anahtarı olabileceği fikrini yeni yeni takdir etmeye başlamıştır ve bunun nasıl işleyebileceğine dair ellerinde sağlam bir açıklama yoktur. Fakat kuantum kuramının kökeninde enformasyon yatıyorsa bu bir şekilde yerinde görünmektedir. “Enformasyon çağı” olarak adlandırılan bir devirde yaşıyoruz; optik fiberler ve uydu aktarımları hayret verici bir hız ve yoğunlukla dünyanın her yerine enformasyon gönderiyor. Bütün bu teknolojiler kuantum dünyasına ilişkin anlayışımız yüzünden işliyor; lazer de mikroçip de kuantum kuramının yan ürünleridir. Fizikteki son sorunun enformasyon kuramı ile kuantum kuramını birbirine bağlaması son derece doğruymuş gibi görünüyor.

## Sofistike Şüpheciler

Peki, bütün bunlar, gerçekliğin nihai doğasına ilişkin arayışımızda bizi nereye çıkarıyor? Bir şeyi “o” diye, gerçek bir oluşum olarak tanımlayabiliyorsanız nihayetinde bu şeyin bir bit enformasyondan ya da büyük bir enformasyon topluluğundan geldiği görülür. Fizikçi John Archibald Wheeler’ın dediği gibi, “o”nu “bitten” anlıyoruz. Wheeler 1990’da “Yarın fiziğin tamamını enformasyon dilinde anlamayı ve ifade etmeyi öğrenmiş olacağız,” demişti. O “yarın” henüz gelmedi, ama sonunda muhtemelen ufukta beliriyor.

<>

“Yarın fiziğin tamamını enformasyon dilinde

anlamayı ve ifade etmeyi öğrenmiş olacağız.”

**JOHN ARCHIBALD WHEELER**



Gelgelelim, gerçekiğin nihai doğasını keşfetme yolunda ne kadar ileriye gittiğimizi bilemiyoruz. Bu yüzyılda gerçekiğe ilişkin araştırmalarımız bizi atom âleminden alıp atomaltı âleme, doğruca, uzay ve zamanın dokusunda enerjik dalgalanmalar olduğu fikrine götürdü. Öyle görünüyor ki gerçekiğin temel doğası bundan da derine, soyut matematik ve enformasyon mefhumlarına iniyor. Peki, ama son nokta burası mı?

Fizikçiler bütün varsayımlarının hakikatten milyonlarca mil uzakta olduğunu biliyor. Bilginin ve insan tahayyülünün bugünkü sınırları içinde çalışıyorlar. Biz dünya hakkında daha fazla şey keşfettikçe her iki sınır da geriliyormuş gibi görünüyor; ama asla gözden kaybolmuyorlar. Bugün fiziğin sonu ufukta göründüyse her zaman orada görüldüğünü hatırlamak önemlidir. Gerçekiğin özünü anlama yolunda nihai adımları attığımızı düşünmek kibirlenmek olacaktır; fizikçilerin kat etmesi gereken kuşkusuz çok fazla yol vardır. Fakat yolculuk bu kadar derinden büyüleyiciyken, yolun bu kadar uzun olması ancak bir kutlama vesilesi olabilir.



# Sözlük

## Alfa ışınımı

İçeri işlemeyen, ama hasar verme potansiyeline sahip bir ışınım. Alfa parçacıkları helyum çekirdeğine benzer ve onlar gibi iki protonla iki nötron içerir.

## Antropik ilke

Evrenin neden gördüğümüz gibi olduğunu soran kavrayış aslında anlamsızdır, çünkü esasen farklı bir evrende varolamazdık.

## Beta ışınımı

İnce bir metal yaprakla durdurulan, yüksek enerjili elektronlardan ya da onların karşı parçacığı pozitronlardan oluşan ışınım. Beta ışınımına zayıf nükleer kuvvetin dahil olduğu nükleer süreçler yol açar.

## Bozon

Kuantum “spin” sayısı tam sayı olan parçacık. Bozonlar, kuvvetlerin etki göstermesini sağlayan parçacıklardır.

## Büyük birleşik kuramlar

Doğadaki üç kuvvetin (güçlü nükleer kuvvet, zayıf nükleer kuvvet ve elektromanyetik kuvvet) evrenin ilk dönemlerindeki koşullar altında nasıl tek bir kuvvet olduğunu açıklama girişiminde bulunan kuramlar.

## Büyük Patlama

Yaklaşık 14 milyar yıl önce evrenin varlık bulduğu an.

## Çekirdek

Atomun, kütesinin neredeyse tamamının yoğunlaşmış olduğu merkezi çekirdeği.

## Çifte kesik deneyi

Işığın dalga niteliğine sahip olduğunu göstermek için tasarlanmış bir deney. Kuantum parçacıklarının dalga benzeri özelliklere sahip olduğunu göstermek için de kullanılmıştır.

## Çok dünyalı kuram

Hugh Everett III'ün ortaya attığı, her kuantum olayının yeni ve ayrı bir evren yarattığı yolundaki fikir. Bu fikre göre, ancak elektronlar gibi kuantum parçacıkları bu başka dünyaların varlığını anlayabilir.

## Çok evren

Çok sayıda küçük evrenden oluşan; genellikle bu evrenler arasında geçişi mümkün kılacak bir bağlantının bulunmadığı bir evren.

## **Daimi hareket makinesi**

Hiç enerji takviyesi yapılmadan yararlı iş yapabilecek varsayımsal makine.

## **Dolaşıklık**

İki kuantum parçacığı etkileşime girdiğinde ortaya çıkan fenomen. Parçacıkların her biri, ikisi birden hakkındaki enformasyonu taşıyarak birbirine bağlı hale gelir.

## **Elektromanyetik kuvvet**

Elektrik yüklü parçacıkların, yüklerinin artı ya da eksi olmasına bağlı olarak birbirlerini itmelerine ya da çekmelerine neden olan kuvvet.

## **Elektron**

Elektrik yükünün temel birimini taşıdığına inanılan atomaltı parçacık.

## **Elektrozayıf etkileşim**

Evrenin ilk zamanlarının sıcak koşullarında var olduğu, elektromanyetik ve zayıf kuvvetleri doğurduğu düşünülen kuvvet.

## **Entropi**

Bir fiziksel sistemdeki düzensizliğin ölçüsü. Kapalı bir sistemin entropisi her zaman artar.

## **Esir**

Evreni doldurduğu ve ışık gibi elektromanyetik dalgaları taşıdığı düşünülen bir sıvı. Varlığı 1887'de yalanlanmıştır.

## **Fermiyon**

Kuantum spini bir tam sayının yarısına eşit olan bir madde parçacığı.

## **Foton**

Işık ya da başka bir elektromanyetik enerji parçacığı.

## **Fraktal**

Hangi ölçekte bakılırsa bakılsın aynı görünen bir geometri.

## **Gama ışınımı**

Nükleer reaksiyonlarda yüksek enerjili fotonların (gama ışınları) salınmasıyla ortaya çıkan son derece nüfuz edici bir ışınım.

## **Gaz**

Birbirlerine çok zayıf bir biçimde çekilen parçacıklardan oluşan bir sıvı.

## **Genel görelilik**

Albert Einstein'ın, kütle ve enerjinin varlığı yüzünden uzay ve zamanda oluşan bükülmeyeyle ilgili betimlemesi.

## **Girişme**

İki dalganın birbirleriyle etkileşime girip baştaki büyüklüklerine ve görelî hallerine bağılı olarak yeni özelliklere sahip bir dalga üretmesiyle sonuçlanan bir dalga fenomeni.

## **Gizli boyutlar**

Bazı kuramlar deneyimlemekte olduğu uzamsal boyutlardan (yukarı-aşağı; ileri-geri; yana doğru) daha fazla boyut olduğunu ileri süren bazı kuramlar.

## **Glüon**

Güçlü nükleer kuvveti aktaran parçacık.

## **Güçlü kuvvet**

Kuarkları bağlayıp nötron ve proton haline getiren, artı yüklü protonların itiş gücünü aşarak atom çekirdeklerini bir arada tutan kısa erimli bir kuvvet.

## **Heisenberg belirsizlik ilkesi**

Bir kuantum parçacığı ya da sistemi hakkında bilinebilecek özellik kombinasyonlarının doğruluğuna bir sınır getiren kural.

## **Higgs parçacığı**

Bazı kütle tiplerinin kaynağı olan Higgs alanını etkili kıldığı düşünölen varsayımsal parçacık.

## **Jeodnamo**

Dünya'nın çekirdeğinde bulunan, çalkantı halindeki erimiş demirden oluşan hareketli top; bu top kendi kendini devam ettiren manyetik bir alan oluşturur.

## **Kapalı zamana benzer eğri**

Uzay-zamanda, eğer izlenecek olursa insanı zamanda aynı noktaya getirecek olan bölge.

## **Kara delik**

Kütleçekimin, hiçbir şeyin (ışığın bile) ondan kaçamayacağı kadar güçlü olduğu uzay-zaman bölgesi. Kara delikler genellikle devasa bir yıldız kendi kütleçekiminin çekimiyle çöktüğünde oluşur.

## **Karanlık enerji**

Birçok fizikçinin, evrenin genişlemesinin ivme kazanmasından sorumlu olduğuna inandığı gizemli enerji biçimi.

## **Karanlık madde**

Çoğu astronoma göre, evrendeki kütle/enerjinin yaklaşık dörtte birini oluşturan varsayımsal madde.

Karanlık madde evrenin her yerine saçılmıştır, fakat galaksiler ve galaksi topluluklarının çevresindeki halelerde yoğunlaşmıştır.

## **Karşıt madde**

Maddenin “düşman ikizi”: her madde parçacığının bir karşıt madde muadili vardır. Bir parçacık ile karşıt parçacığı çarpıştığında birbirlerini ortadan kaldırırlar.

## **Katı**

Maddenin, parçacıkların sert bir yapı içinde birbirlerine kuvvetle bağlanmış olduğu hali.

## **Kinetik enerji**

Hareketle ilgili enerji

## **Kozmik mikrodalga arkaplan ışınımı**

Büyük Patlama’dan yaklaşık 300.000 yıl sonra salınmış ışınım. Kozmik mikrodalga arkaplan ışınımı evrenin ilk zamanlarının niteliğine ilişkin birçok ipucu barındırır.

## **Kuantum**

Köken itibarıyla temel bir enerji birimi olup artık atom altı fizikte elektron yükü gibi bölünemeyen her şeye uygulanmaktadır.

## **Kuantum elektrodinamiği**

Elektromanyetik kuvvetin maddeyle etkileşimini betimleyen kuram.

## **Kuantum kromodinamiği**

Nükleer fizikte kuarklar ile glüonlar arasındaki etkileşimleri betimleyen kuram.

## **Kuantum kütleçekimi**

Şeylerin çok küçük ve çok büyük ölçeklerde nasıl davrandığını betimlemek üzere kuantum kuramı ile görelilik kuramını bir araya getiren bir kuram.

## **Kuark**

Atom çekirdekleriyle ilişkili olan atomaltı bir parçacık. Her proton ve nötron üç kuarktan oluşmaktadır.

## **Kurt deliği**

Uzay-zamanda zaman yolculuğu için kullanılabilecek varsayımsal bir kestirme yol.

## **Kütle**

Bir nesnenin, ivmelenmeye direniş gösteren (atıl kütle) ya da kütleçekim kuvvetine cevap verip kütleçekim kuvveti yaratan (kütleçekim kütlesi) özelliği. Fizikçiler bu iki tip kütlelerin eşdeğer olduğuna inanır, fakat bu kanıtlanmamıştır.

## **Kütleçekim**

Kütle ve enerjiye sahip parçacıklar arasında etkili olan çekim kuvveti.

## **Manyetosfer**

Dünya'yı çevreleyen manyetik alan

## **Maxwell denklemleri**

James Clerk Maxwell'in ortaya koyduğu, elektrik alanı ile manyetik alanın nasıl davranıp nasıl bir etkileşim kurduğunu tanımlayan denklemler.

## **Momentum**

Bir parçacığın kütlesi ve ivmelenme yönünün ürünü.

## **Mutlak sıfır**

-273 Celcius; hiçbir maddenin ısı enerji içermediği sıcaklık.

## **Nötron**

Üç kuarktan oluşan, fakat net elektrik yüküne sahip olmayan bir parçacık.

## **Özel görelilik**

Einstein'ın 1905'te yayınladığı, fizik kanunlarının, uzay ve zamanda nasıl hareket ediyor olurlarsa olsunlar bütün gözlemciler için aynı olmasının bir yolunu ortaya koyan kuram. Einstein bu kuramı daha sonra kütleçekim alanlarının etkisini içerecek şekilde genelleştirmiştir.

## **Parçacık hızlandırıcı**

Atomaltı parçacıkları birbirleriyle çarpıştırmaya yarayan makine. Sonuçta ortaya çıkan enkazın incelenmesi maddenin temel bileşenlerine ve evrenin doğasına ilişkin ipuçları verebilir.

## **Potansiyel enerji**

Bir nesnenin bir alandaki konumu yüzünden sahip olduğu enerji (genellikle kütleçekim ya da elektrik enerjisidir).

## **Proton**

Üç kuarktan oluşan pozitif yüklü bir parçacık.

## **Schrödinger denklemi**

Maddenin atom altı ölçeklerde nasıl davrandığını betimlemek için kullanılan denklem.

## **Sıkıştırılma**

Modern fizik kuramlarının birçoğunun ileri sürdüğü "fazladan" boyutların tespit edilemeden kaldığı süreç.

## **Sıvı**

Maddenin, parçacıklar arasında bir çekim kuvvetinin bulunduğu, parçacıkların birbirinden ancak bir enerji girdisiyle ayrılabilceği hali.

## **Solar rüzgâr**

Güneşin yüzeyinden havalanan bir yüklü parçacıklar akıntısı. *Aurora borealis*'in (kuzey ve güney ışıklarının) sebebi solar rüzgârdır.

## **Sicim kuramı**

Atomaltı dünyanın, parçacıklar ve kuvvetlerin sicimlerin titreşimleri ve enerji ilmekleri üzerinden açıklandığı bir betimlemesi.

## **Standart model**

Bilinen bütün parçacıkların özelliklerini ve aralarındaki etkileşimleri betimleyen fizik kuramı.

## **Süper akışkan**

Hiçbir sürtünme göstermeyen sıvı. Karıştırılmış bir süper akışkanın hareketi tanımsız bir süre boyunca devam eder.

## **Süper iletken**

Elektrik akımının akışına hiçbir direniş göstermeyen malzeme.

## **Süpersimetri**

Bilinen parçacıkların her birinin, kendisinden çok daha ağır fakat onunla ilişkili bir kuantum spini olan varsayımsal bir "süper eşi" olduğunu söyleyen bir kuram. Süpersimetri doğanın bütün kuvvetlerini birleştirme girişimlerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır.

## **Şişme**

Evrenin Büyük Patlama sonrası son derece hızlı bir genişleme evresinden geçtiğini ileri süren bir kuram.

## **Temel kuvvetler**

Dört temel kuvvet şunlardır: güçlü nükleer kuvvet, elektromanyetik kuvvet, zayıf nükleer kuvvet, kütleçekim. 204. sayfadaki tabloya bakınız.

## **Termodinamik**

Enerjinin fiziksel bir sistem içinde nasıl ısı, iş ve entropi yaratacağına ilişkin incelemeler.

## **Ters kare kanunu**

Uzamsal olarak birbirinden ayrı iki nesne arasındaki kuvvetin, nesnelere birbirinden uzaklaştırıldığında aradaki mesafenin karesiyle oranlı bir miktarda azalması.

## **Uzay-zaman**

Evrenin dört boyutlu dokusu. Uzay-zamanda herhangi bir nokta “olay” olarak bilinir: Belli bir zaman ve yer.

## **Vakum enerjisi**

Boş olması halinde uzay-zamana içkin enerji. Bu enerji, uzay-zamanın sonlu bir zaman süresince sıfır enerjiye sahip olmasını mümkün kılmayan Heisenberg belirsizlik ilkesinden kaynaklanmaktadır.

## **Zaman esnemesi**

Özel görelilik kuramının, deneylerden doğan ve zamanın akışının göreliliğiyle hareketle ya da bir kütleçekim alanının varlığıyla değiştiğini söyleyen bir tahmini.

## **Zayıf kuvvet**

Bütün madde parçacıklarını etkileyen kısa erimli kuvvet. Bu kuvvet başka şeylerin yanı sıra bazı ışınım biçimlerinin sebebidir.

# Maddenin temel parçacıkları

**Kuarklar**

yukarı /

çekici/ tuhaf

üst/ alt



Maddenin temel yapı taşları. Üç kuark bir nükleon oluşturur: bir yukarı ve iki aşağı kuark bir nötron, bir aşağı ve iki yukarı kuark da bir proton oluşturur. Kuarklar güçlü kuvvetle bir arada tutulurlar. Yukarı ve aşağı kuarklar kararlıyken, diğer dört kuark kısa ömürlüdür ve hızla çürüyüp aşağı ve yukarı kuark oluştururlar. Kuarklar doğadaki dört kuvvetin hepsini de tecrübe eden tek parçacıklardır.

aşağı

Tau

**Leptonlar**

Elektron nötrino

Müon nötrino

Bu parçacıklar fotonlarla zayıf etkileşim yoluyla etkileşim kurar. Yalnızca elektron kararlıdır; müon ve tau yalnızca bir saniyenin minicik bir kesiti süresince var olur. Nötrinoların neredeyse hiç kütlesi yoktur ve ışık hızına yakın bir hızla yol alırlar. Nükleer reaksiyonlar ve radyoaktif beta çürümesi sonucu ortaya çıkarlar.

Elektron

Müon

nötrino

**Geyç bozonları (kuvvetler)**

Foton

Glüon

Z  
bozonu

W  
bozonu

Bozonlar doğadaki kuvvetleri aktarır. Foton ve glüon kütsesizdir, W ve Z bozonlarının Higgs alanıyla etkileşimlerinden doğduğu düşünölen küçük bir kütsesi vardır.

(elektro-  
manyetik)

(güçlü  
nükleer  
kuvvet)

(zayıf  
nükleer  
kuvvet)

(zayıf  
nükleer  
kuvvet)

# Dört Kuvvet

KUVVET	TANIMI	GÖRELİ GÜCÜ	ERİMİ	ARACI
Güçlü	Çekirdeği bir Elektrik yüklü	1	$10^{-15}$	Glüon
Elektromanyetik		1/137	Sonsuz	Foton

	parçacıkları çeker/iter			
Zayıf	Beta ışınımı yaratır	$10^{-6}$	$10^{-18}$	W ve Z bozonları
Kütleçekim	Kütle/enerjisi olan	$10^{-39}$	Sonsuz	Graviton (hipotetik)