

Keyifli Okumalar Dileriz

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

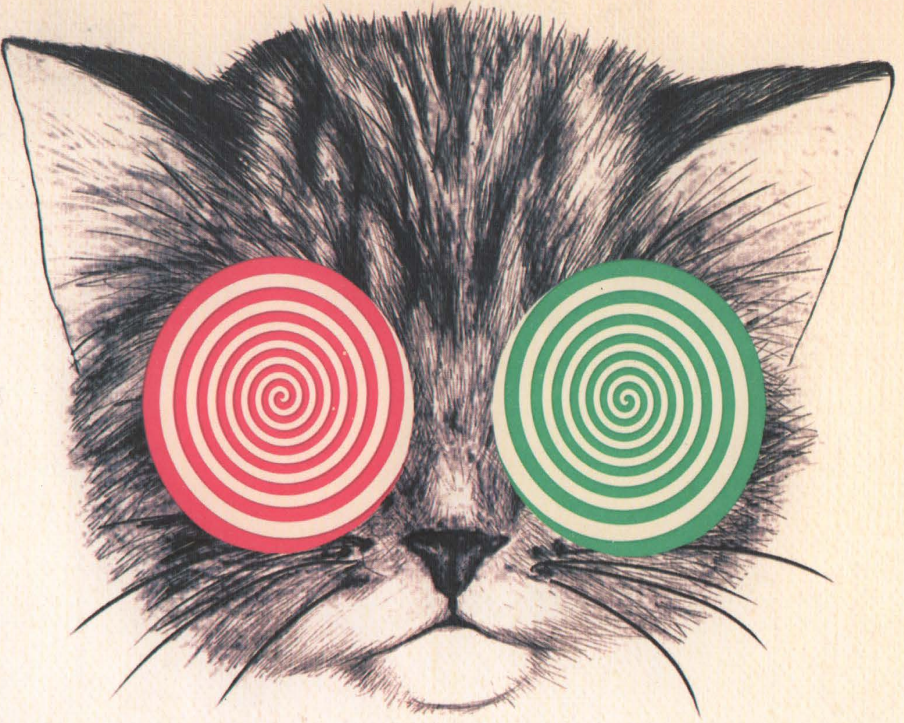
RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

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

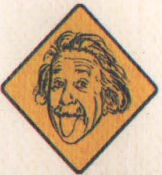
- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>



PARADOKS

Bilimin En Büyük Dokuz Bilmecesi

JIM AL-KHALILI



ÇEVİRİ: CEM DURAN

Paradoks

Paradoks

Bilimin En Büyük Dokuz Bilmecesi

Jim Al-Khalili

Çeviri: Cem Duran

 domingo



PARADOKS
JIM AL-KHALILI

© 2012 Jim Al-Khalili

Bu kitabın Türkçe yayın hakları AnatoliaLit Telif Ajansı aracılığıyla alınmıştır.

Türkçe yayın hakları:

© 2012 Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.

Domingo, Bkz Yayıncılık markasıdır.

Sertifika No: 12746

Çeviri: Cem Duran

Kapak Tasarımı: Ayşe Nur Ataysoy

Sayfa Uygulama: Ayhan Şensoy

ISBN: 978 605 62604 7 6

I. Baskı: Haziran 2012

XII. Baskı: Aralık 2018

Deren Matbaacılık

Beylikdüzü OSB Mah. Orkide Cad. No: 9/Z

Merkez Köyü, Beylikdüzü İstanbul

Tel: (212) 612 31 80 Sertifika No: 34011

Tüm hakları saklıdır. Bu kitabın tümünün veya içeriğinin herhangi bir bölümünün yayıncının yazılı izni olmadan, fotokopi yöntemi dahil, elektronik ya da mekanik herhangi bir yolla çoğaltılması yasaktır.

Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.

Şahkulu Mah. Büyük Hendek Cad. Brot Apt.

No: 4 D: 10 Beyoğlu İstanbul

Tel: (212) 245 08 39

e-posta: domingo@domingo.com.tr

www.domingo.com.tr

Julie, David ve Kate'e

İçindekiler

Teşekkür	ix
Giriş	xi
1 Yarışma Programı Paradoksu	1
2 Aşil ve Kaplumbağa	22
3 Olbers Paradoksu	39
4 Maxwell'in Cini	59
5 Ahırdaki Sırık Paradoksu	84
6 İkizler Paradoksu	102
7 Dede Paradoksu	122
8 Laplace'ın Cini Paradoksu	142
9 Schrödinger'in Kedisi Paradoksu	159
10 Fermi Paradoksu	177
11 Kalan Sorular	197
Dizin	202

Teşekkür

BU KİTABI yazarken müthiş eğlendim. İçeriğinin büyük bölümü, fizik lisans dersleri verdiğim öğretmenlik kariyerim boyunca görelilik ve kuantum kuramıyla ilgili zor kavramları vurgulamak ve açıklamak için derslerde kullandığım paradoksların birikiminden oluşuyor. Bununla birlikte, geçen yıl boyunca yaptıkları öneriler ve verdikleri destek için teşekkür etmem gereken bazı insanlar var. Menajerim Patrick Walsh, bana cesaret veren desteğini hiçbir zaman esirgemedi. Transworld'deki editörüm Simon Thorogood ve Crown'dan Vanessa Mobley de aynı şekilde. Editörüm Gillian Somerscales'e faydalı yorumları, düzeltmeleri ve açıklamalarımı olabildiğince açık yapmam konusundaki ısrarları için çok büyük teşekkür borçluyum. Ayrıca Surrey Üniversitesi'nde yıllar boyunca ders verdiğim yüzlerce lisans öğrencisine, modern fiziğin ince konularını anlatırken bana doğrulardan taviz verdirtmedikleri için teşekkür etmek isterim. Son olarak, karım Julie'ye, yaptığım her şeyde beni yılmadan desteklediği ve yüreklendirdiği için teşekkür etmek istiyorum.

Giriş

ÇEŞİT ÇEŞİT paradoks vardır. Bazıları ekstra bilgi gerektirmeyen düz mantık paradoksları, bazılarıysa altında bütün bir bilimdalının yer aldığı buzdağının ucudur. Çoğu paradoks, genelde hatalı olan bazı varsayımlarda bulunur; üzerinde dikkatlice düşünüldüğünde çözümlürler. Aslında bunlara paradoks demek bile doğru değildir, çünkü karışıklık çözüldüğünde paradoks da ortadan kalkar.

Gerçek paradoks, kısır döngüsel ve kendisiyle çelişen bir sava yol açan, veya mantıksal açıdan imkânsız bir durum doğuran ifadedir. Fakat gündelik kullanımda “paradoks” sözcüğü, benim “paradoksumsu”lar adını verdiğim türden ifadeleri de kapsayan bir anlam kazanmıştır. Bu tür bilmecelerin çıkış yolu olmaz. Bazılarında basit bir numara ya da el çabukluğuyla okurlar veya dinleyenler kandırılır. Numara anlaşıldığında, çelişki veya mantıksal saçmalık ortadan kalkar. Bir başka paradoksumsu türünde ifade ve sonuç ilk başta saçma veya en azından sağduyuya aykırı gelse de, daha dikkatli incelendiklerinde öyle olmadıkları ortaya çıkar; sonuç ise şaşırtıcılığını yitirmez.

Bir de fizikteki paradokslar var elbet. Bunların tamamı –doğrusunu söylemek gerekirse “neredeyse” tamamı– bir parça temel bilimsel bilgiyle çözülebilir; biz de kitapta asıl bunların üzerinde duracağız.

Şimdi gelin gerçek bir mantık paradoksuna kısaca göz atalım. Böylece neyden *bahsetmeyeceğimizi* de daha net belirtmiş oluruz. Bakacağımız ifade çıkış yolu olmayacak şekilde tasarlanmış bir kısır döngü.

Şu basit ifadeyi ele alalım: “Bu cümle yanlıştır.” İlk okumada sıradan bir söze benziyor. Ama anlamını düşündüğümüzde mantıksal paradoks gün yüzüne çıkıyor. Üç sözcük bile başımızı ağrıtmaya yetebiliyor anlaşılan. Gerçi eğer buna başağrısı demek mümkünse, yakınlarımıza ve arkadaşlarımıza yaymaktan sadistçe bir zevk duyacağımız, eğlenceli bir başağrısı olduğunu da ekleyebiliriz sanırım. “Bu cümle yanlıştır” sözü, bir yandan söylediği şeyin yanlış olduğunu, yani aslında cümlenin yanlış olmadığını söylüyor –ama öte yandan, cümle yanlış değilse, söylediği şey doğru olmalı, yani cümle yanlış olmalı. Bu kısır döngü sonsuza kadar böyle devam eder.

Bu türden pek çok paradoks var. Bu kitabın konusu bunlar değil.

Bu kitabın konusu, benim en sevdiğim bilimsel bilmeceler ve gizemler. Bunların ortak özelliği, hepsinin paradoks adıyla ünlenmiş olması; ama doğru bakış açısıyla dikkatlice incelersek bunların paradoks olmadıklarını görürüz. İlk kez karşılaştıklarında sağduyuya aykırı gelmekle beraber, sonunda hep fiziğin ince noktalarından birini es geçtikleri ortaya çıkar. Bu es geçilen nokta işin içine katıldığında paradoksun üstüne inşa edildiği sütunlardan biri çöker ve bütün şaşalı bina yerle bir olur. Çözümlemiş olmalarına rağmen, bunlara paradoks demeyi sürdürürüz. Bunun bir nedeni, ilk dile getirildiklerinde –henüz nerede hata yaptığımızı ayımsayamadığımız dönemde– kazanmış oldukları kötü ündür; bir diğer nedeniyse, bu şekilde paradoks olarak sunulduklarında, bilimsanlarının bazı karmaşık kavramları kafalarında oturtmalarına yardımcı olmalarıdır. Tabii bir de üzerlerinde düşünmenin bu denli keyifli olması var.

Bakacağımız paradoksların çoğu gerçek birer paradoksmuş gibi duruyor. Mesele de bu zaten. Basit “zaman yolculuğu paradoksu”nu ele alalım: bir zaman makinesiyle geçmişe gidip kendi genç halinizi öldürürseniz ne olur? Genç halinizin yaşlanmasını engellediğiniz için siz de yok mu olursunuz? Eğer öyleyse, yani zaman makinesiyle geçmişe gidecek yaşa gelmeden öldüyseniz genç halinizi kim öldürdü? Yaşlı halinizin kusursuz bir mazereti var: “Ben öldürüldüm, geri gelip kendimi nasıl öldüreyim!” Öte yandan, eğer zamanda geri gidip kendi genç halinizi öldürecek kadar yaşayamadıysanız, o zaman genç halinizi öldürmediniz demektir, ki o zaman da öldürülmemiş olur ve yaşlanabilir, böylece zamanda geri gidip genç halinizi öldürebilirsiniz, vs. Bu gerçekten kusursuz bir mantık paradoksuna benziyor. Üstelik fizikçiler zaman yolculuğu olasılığını –en azından kuramsal olarak– reddetmiş değiller. O zaman işin içinden nasıl çıkacağız? Bu paradoksu 7. bölümde ele alacağım.

Paradoksumsuların hepsini anlamak için bilimsel altyapı gerekmez. Bunu göstermek amacıyla birinci bölümde sırf basit mantık kullanarak çözümlenebilecek birkaç paradoksumsuya yer verdim. Ne demek istediğimi açıklayayım. Temel bir korelasyondan yanlış sonuçlar çıkarmanın mümkün olduğu basit bir istatistiksel paradoksa bakalım. Kilise sayısı yüksek olan şehirlerde suç oranlarının da yüksek olduğu bilinir. Bu paradoksal bir duruma benziyor (tabii kiliselerin suçun ve kanunsuzluğun beslendiği yerler olduğunu düşünmüyorsanız, ki dinsel ve ahlaki görüşünüz ne olursa olsun bu düşük bir olasılık). Bu paradoksal durum kolayca çözümlenebilir. Hem kilise sayısının, hem de suç sayısının çok olması yüksek nüfusun doğal sonuçlarıdır. A’nın, B’ye yol açması ve A’nın, C’ye yol açması, B ile C arasında bir nedensellik ilişkisi olmasını gerektirmez.

Kulağa ilk başta paradoksal gelen ama açıklamasını duyunca ikna olduğumuz bir başka basit örneğe bakalım. Birkaç yıl önce yakın bir İskoç meslektaşımın duymuştum bunu. “İngiltere’ye giden her İskoç her iki ülkenin de ortalama IQ’sunu yükseltir.” diyordu. Mantık

şu: Tüm İskoçlar İngilizlerden daha zeki olduğunu iddia ederler. Dolayısıyla bir İskoç İngiltere'ye gidince İngiltere'nin ortalama IQ'su yükselmiş olur. Gelgelelim, İskoçya'yı bırakıp da İngiltere'ye gitmek o kadar ahmakça bir iştir ki, ancak kafası çalışmayanlar böyle bir işe kalkışır; o kişi gittiği zaman geriye kalanların ortalama IQ'su yükselmiş olur. Gördüğünüz gibi, ilk anda paradoksal gelen bir söz, basit mantıksal çıkarımla –her ne kadar İngilizler pek ikna olmasa da– güzelce çözülebiliyor.

Birinci bölümde bilime başvurmadan çözülebilen birkaç tanınmış paradoksla eğlendikten sonra, seçmiş olduğum dokuz fizik paradoksuna geçeceğiz. Her birini önce ifade edecek, sonra içyüzünü göstererek paradoksun nasıl uçup gittiğini açıklayacağız; bazen hatanın altında yatan mantığı gözler önüne serecek, bazen sorun gibi gözüken şeyin aslında hiç de sorun olmadığını ortaya çıkaracağız. Hepsi oldukça eğlenceli, çünkü hem zihinsel açıdan bizi zorluyorlar, hem de *hepsinin bir çıkış kapısı var*. Sadece nereye bakacağımızı bilmemiz gerekiyor; bilimsel kavrama gücümüzü artırmalı, Aşil'in topuğunun nerede olduğunu bulmalı, mızrağımızı oraya hedeflemeliyiz –paradoks, paradoksluktan çıkana dek.

Paradokslarımızın bir kısmının isimleri tanıdık; örneğin Schrödinger'in Kedisi Paradoksu –kilitli bir kutuya hapsettiğimiz ve açana değin hem ölü, hem canlı olan talihsiz kedinin paradoksu. Belki daha az tanıdık olan, ama yine bazılarının bildiği Maxwell'in Cini Paradoksu –bir başka kilitli kutunun içinde taht kurmuş, kutunun içindekileri kendi keyfine göre düzenleyerek fiziğin en kutsal buyruklarından Termodinamiğin İkinci Yasası'nı çiğneyen hayali varlık. Bu tür paradoksları ve çözümlerini anlayabilmek için bazı temel bilimsel gerçekleri kavramamız gerekli; bunun için kendime şöyle bir görev yüklüyorum: bu bilimsel kavramları size gereksiz ayrıntılardan olabildiğince uzak, ayrıca kalkulus, termodinamik veya kuantum mekaniği gibi konuların derinliklerinde kaybolmadan açıklamaya çalışacağım.

Bu kitaptaki paradoksların çoğunu son 14 yıldır görelilik üzerine verdiğim lisans dersinden derledim. Einstein'ın uzay ve zaman üzerine fikirleri, Ahırdaki Sırık Paradoksu, İkizler Paradoksu ve Dede Paradoksu gibi mantıksal zekâ bilmecelerine zemin hazırlamıştır. Schrödinger'in Kedisi gibi bazı paradokslarsa, kimilerinin gözünde hâlâ doyurucu bir yanıtı kavuşmayı beklemekte.

Fiziğin en büyük saydığım gizemlerini seçerken, çözülmemiş en büyük soruları hedef almadım. “Evrenimizdeki toplam maddenin %95’ini oluşturan karanlık madde ve karanlık enerji neyden yapılmıştır?” veya “Büyük Patlama’dan önce bir şey var mıydı? Varsa ne vardı?” gibi bilimin henüz yanıtlayamadığı büyük ve derin sorular konumuz dışında. Bunların bazılarını, örneğin galaksilerin kütesinin büyük çoğunluğunu oluşturan karanlık maddenin içeriğinin ne olduğu sorusunu yakın gelecekte, Cenevre’deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı gibi parça hızlandırıcılar yeni ve heyecan verici keşifler yapmayı sürdürürlerse yanıtlamamız mümkün olabilir. Büyük Patlama’dan önce zamanın tanımı gibi bazı sorular ise sonsuza kadar yanıtsız kalabilir.

Elimden geldiğince çeşitli konulara yer vermeye gayret ettim. Önümüzdeki bölümlerde değineceğimiz paradoksların hepsi, uzay ve zamanın doğasına, en küçükten en büyük boyuta kadar Evren’in özelliklerine dair derin soruları ele alıyor. Bazıları kuramların bulunduğu öngörülerini dile getiriyor. Bu öngörüler ilk kez duyulduğunda garip gelse de, kuramın altındaki fikirler anlaşıldığında akla yatkın gelmeye başlıyorlar. Bakalım bir yandan bütün bu paradoksların hakkından gelirken bir yandan siz sevgili okurlarımla ufuk genişletici ve keyifli zaman geçirebilecek miyiz?

BİR

Yarışma Programı

Paradoksu

Aklınızı alabilecek basit olasılık hesapları

FİZİĞE DALMADAN önce birkaç basit, eğlenceli, kafa karıştırıcı bilmeceyle sizi ısıtırsam fena olmaz diye düşünüyorum. Şunu belirtmeliyim ki kitabın geri kalanında olduğu gibi, bu bölümdekilerin de hiçbiri gerçek paradoks değil aslında; biraz dikkatli akıl yürütüldüğünde gizemleri ortadan kaldırılabilir. Fakat sonradan karşılaşacağımız, altlarında yatan fiziği kavramamızı gerektiren paradokslardan farklı olarak, bu bölümdeki paradokslar bilimsel bir altyapı olmadan da çözülebilir. İçlerinde en son ve en keyifli olan Monty Hall Paradoksu o kadar şaşırtıcı ki, aklınıza en çok yatanı seçebilmeniz için çözümlemesini ve analizini birkaç farklı yoldan yapmaya çalışacağım.

Bu bölümdeki her paradoks, “doğru-çıkarımlı”* veya “yanlış-çıkarımlı”** olmak üzere iki kategoriden birine dahil. Doğru-çıkarımlı paradoks, sağduyuya aykırı olduğu için yanlışmış izlenimi uyandıran bir sonuca varan, ancak doğru olduğu mantık kurallarıyla gösterilebilen pa-

* İng: Veridical

** İng: Falsidical

radokstur. Aslına bakarsanız bu tarz soruların asıl zevki, bir yerlerde bir numara varmış hissine kapılan dinleyiciye, varılan sonucun doğru olduğunu gösteren en inandırıcı yolu bulmakta yatar. Birazdan bakacağımız Doğum Günü Paradoksu ve Monty Hall Paradoksu bu kategoriye girer.

Yanlış-çıkarımlı paradoks ise gayet akla yatkın şekilde başlayıp saçma bir sonuca varır. Gelgelelim, bu sefer varılan saçma sonuç gerçekten de hatalıdır; ispat sırasında ince bir kandırmaca veya hatalı adım vardır.

Yanlış çıkarımlı paradokslara örnek olarak, birkaç adımda $2 = 1$ olduğunu “ispatlayan” matematiksel aldatmacaları gösterebiliriz. Böyle bir şeyi “ispatlayan” kişi mantık ve felsefe üzerine ne kadar dil dökerse dökün ikna olmamalıyız. Burada bu tür aldatmacalara yer vermeyeceğim; sonuçta herkes benim kadar cebire meraklı olmak zorunda değil. Ama yine de şunu söylemeden geçmeyelim: Genelde bu gibi “ispatlardaki” adımlardan birinde eşitlik sıfıra bölünür. Sıfıra bölme, matematikçilerin itinayla kaçındıkları bir hatadır. Bunların yerine, minimum matematik becerisiyle takip edilebilecek birkaç soruya yoğunlaşacağız. İki tane nefis, yanlış-çıkarımlı paradoksla işe koyulalım: Kayıp Doların Gizemi ve Bertand’ın Kutusu Paradoksu.

Kayıp Doların Gizemi

Bu harika bilmeceyi birkaç yıl önce “Mind Games” adlı televizyon yarışma programına katıldığımında kullanmıştım –gerçi bilmece bana ait değil. Programda her hafta yarışmacılar, matematikçi Marcus du Sautoy’un hazırlamış olduğu bilmeceleri çözebilmek için yarışıyorlardı. Ayrıca her yarışmacı en sevdiği bilmeceyi getirerek diğer takımın yarışmacılarını çuallatmaya çalışıyordu.

Bilmece şöyle:

Üç yolcu geceyi geçirmek için bir otele gelmişler. Genç resepsiyoncu üç yataklı bir oda için 30 dolar istemiş. Üç yolcu, her biri eşit olarak 10 dolar verecek şekilde anlaşmışlar. Anahtarını alıp odaya çık-

mışlar. Birkaç dakika sonra resepsiyonist bir hata yaptığını farketmiş. Otel bir haftalığına özel bir kampanya başlattığı için yolculardan aslında 25 dolar alması gerekiyormuş. Müdüre farketirmeden hatasını düzeltmek üzere kasadan bir 5 dolarlık kaptığı gibi müşterilerin odasına fırlamış. Yolda beş doları üç kişiye bölüştüremeyeceği aklına gelince her bir müşteriye birer dolar verip geri kalan iki doları kendisi almaya karar vermiş. Böylece herkes memnun olur diye düşünmüş. Fakat şöyle bir sorun var: Bu durumda üç arkadaştan her biri dokuzar dolar vermiş olacak. Bu para otelin kasasına giren 27 dolara karşılık geliyor. Resepsiyonistin cebine de 2 dolar girdi; etti 29 dolar. Peki ilk baştaki 30 doların son bir dolarına ne oldu?

Bu sorunun yanıtını belki bir bakışta görebilirsiniz. Açıkçası ben göremedim. Bu yüzden okumaya devam etmeden önce biraz düşünün isterseniz.

Buldunuz mu? Sorunun paradoks gibi gözükmesinin tek nedeni ifade ediliş şekli. Mantıktaki hata, 27 dolarla resepsiyonistin aldığı 2 doları birbirine eklemekte. Ortada artık 30 dolarlık bir hesap olmadığına göre bunları toplamanın anlamı yok. Resepsiyonistin aldığı 2 doları yolcuların ödediği 27 dolardan çıkarmamız gerekir, toplamamız değil. O zaman otelin aldığı 25 doları buluruz.

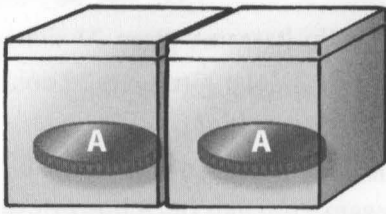
Bertrand'ın Kutusu Paradoksu

Bakacağımız ikinci yanlış-çıkarımlı paradoks, 19. yüzyıl Fransız matematikçisi Joseph Bertrand'a mal edilir. (Bertrand'ın en ünlü paradoksu bu değil gerçi; daha teknik matematik gerektiren bir paradoksu daha var.)

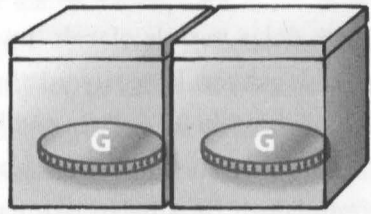
Her biri iki bölmeli üç kutu var. Her bölmenin içinde bir madeni para var. Bölmeleri kutunun diğer bölmesinden bağımsız olarak açıp içindeki paraya bakabiliyoruz. Bir kutuda iki altın para (buna AA diyelim), bir diğerinde iki gümüş para (GG), ve son kutuda bir altın,

bir gümüş para (AG) var. Kutular dıştan aynı olduğu için hangisinin hangisi olduğunu ayırt edemiyoruz. İçinde altın ve gümüş para olan kutuyu seçme olasılığımız nedir? Eh, bunun yanıtı basit: üçte bir. Soru bu değil zaten.

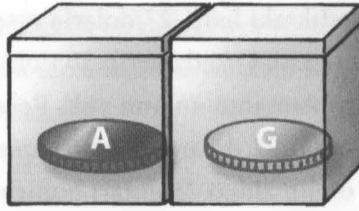
Şekil 1.1. Bertrand'ın kutuları



1. kutu



2. kutu



3. kutu

Gelişigüzel bir kutu seçiyoruz. İki bölmesinden rasgele birini açtığımızda içinde altın para olduğunu görüyoruz. Bu kutunun AG kutusu olma olasılığı nedir? Şöyle düşünelim: Altın bulduğumuza göre bu GG kutusu olamaz, o zaman geriye iki seçenek kaldı: AA veya AG. Bu durumda AG olma olasılığı da ikide bir olsa gerek, değil mi?

Eğer bölmeyi açtığımızda içinden gümüş para çıksaydı, o zaman da AA seçeneğini eleyebilirdik; geriye AG ve GG kalırdı. Demek ki o durumda da seçtiğimiz kutunun AG olma olasılığı ikide bir.

Herhangi bir kutunun herhangi bir bölmesini seçtiğimizde ya

altın ya da gümüş parayla karşılaşacağımıza göre, üstelik altınla da karşılaşsak, gümüşle de karşılaşsak kutunun AG olma olasılığı ikide bir olduğuna göre, demek ki açıp baktığımız bölmenin içinden ne çıkarsa çıksın kutunun AG olma olasılığı ikide birdir. Demek ki herhangi bir kutu seçip içine baktığımız zaman, içinden altın da çıksa, gümüş de çıksa, AG olma olasılığı baştaki üçte birden ikide bire yükseliyor. İyi de, paralardan birini görünce olasılık nasıl böyle değişebilir? Rasgele seçtiğimiz bir kutunun AG olma olasılığı üçte bir ise, içindeki parayı görünce hiçbir yeni bilgi edinmememize rağmen (çünkü ya altın ya da gümüş çıkacağını açmadan da biliyoruz zaten) olasılık nasıl üçte birden ikide bire çıkar? Nerede hata yapıyoruz?

Gerçek şu ki, paralardan birini görsek de görmesek de, olasılık en başından beri üçte birdi, hiçbir zaman ikide bir olmadı. Bölmenin içinde altın para bulduğumuz durumu ele alalım. Toplamda üç altın para var –bunlara A1, A2, A3 diyelim. AA kutusundakiler A1 ve A2, AG kutusundakiyse A3 olsun. Eğer bir kutuyu açıp içinde altın bulursanız, AA kutusunu seçmiş olma olasılığınız üçte ikidir, çünkü bulduğunuz altın A1 veya A2 olabilir. A3'ü bulmuş olma olasılığınız –dolayısıyla AG kutusunu bulmuş olma olasılığınız– üçte birdir.

Doğum Günü Paradoksu

Şimdi doğru-çıkarımlı paradoksların en ünlülerinden birine bakalım. Önceki iki örnekten farklı olarak, burada ne bir numara, ne bir mantık hatası, ne de kelime oyunu var. Çözümünden ikna olsanız da olmasanız da, hem matematiksel hem de mantıksal açıdan tamamen doğru ve tutarlı olduğunu belirteyim. Aslına bakarsanız sorunun asıl güzelliği, vardığı sonucu aklımızın bir türlü kabul etmek istemeyişinde yatıyor.

Soru şu:

Bir odadaki insanlardan en az ikisinin doğum günlerinin aynı olma olasılığının yüzde elliden fazla olması için odada en az kaç kişi bulunmalıdır?

Varılan cevap (tabii ki) yanlış çıkacak olsa da, gelin önce soruya naif sezgilerimizle yaklaşalım. Yılda 365 gün olduğu için, 365 tane boş sandalyesi olan bir amfi hayal edelim. İçeri 100 öğrenci giriyor ve gelişigüzel oturuyorlar. Arkadaş olanlar belki yan yana oturmak isterler, bazıları fark edilmeden rahatça uyuyabilmek için arka sıraları tercih eder, derse meraklı olanlar ise ön sıraları tercih eder. Fakat nasıl otururlarsa otursunlar, sıraların üçte ikisinden fazlasının boş kalacağı kesin. Tabii birkaç öğrencinin aynı sıraya oturacak hali yok; ama zaten iki öğrencinin birden tam da aynı sırayı seçme olasılığı son derece düşük olsa gerek, sonuçta oturabilecekleri o kadar yer var.

Sezgilerimizle vardığımız bu sonucu doğum günü sorusuna uygulayacak olursak, yüz öğrenciden herhangi ikisinin doğum gününün aynı olma olasılığının da yukarıdaki örnekteki gibi oldukça düşük olduğu sonucuna varabiliriz –sonuçta sandalye sayısı kadar gün sayısı var. Doğum günü aynı olan arkadaşlar haliyle olabilir, ama sezgisel olarak böyle bir şeyin olasılığı %50’den düşük olsa gerek.

366 kişilik bir gruptaysa (artık yılları saymazsak) en az ikisinin doğum gününün aynı olacağı bariz. Fakat konu insan sayısını azaltınca ilginçleşmeye başlıyor asıl.

Öyle ki, kulağa inanılmaz gelse de, odada 57 kişi varsa ikisinin doğum günlerinin aynı olma olasılığı %99. Yani herhangi 57 kişi içinde, içlerinden ikisinin doğum günlerinin aynı olacağı neredeyse kesin! Buna inanmak hiç de kolay değıl. Fakat sıkı durun, sorunun yanıtı, yani olasılığın %50’den fazla olması için gerekli kişi sayısı 57’den çok daha az: sadece 23 kişi!

Çoğumuz bu sonucu duyduğumuzda şaşkınlığa düşeriz, hatta

doğruluğuna şüphe kalmadığında bile huzursuzluğumuz geçmez; ne de olsa sezgisel olarak bunu kabul etmek çok güç. O yüzden gelin, elimizden geldiğince açık olmaya çalışarak işin biraz matematiğine girelim.

Hiç artık yıl olmadığını, odada hiç ikiz olmadığını ve doğum günlerinin düzgün dağıldığını varsayacağız.

Çoğu insanın yaptığı hata, iki sayıyı karşılaştırdığımızı sanmak: odadaki insan sayısı ve yıldaki gün sayısı. Bu durumda, 23 kişinin doğmak için 365 farklı günü olduğuna göre, bunların farklı farklı olma olasılıkları üst üste gelme olasılıklarından daha fazlaymış gibi geliyor insana. Fakat bu bakış açısı yanıltıcı. Doğum günlerinin aynı olması için bireyler değil, bir *çift* insan lazım. Ardından olabilecek çift sayısını göz önüne almalıyız. En basit durumdan başlayalım: üç kişi olduğunda üç çifte bakmalıyız: A-B, A-C ve B-C. Dört kişiyle ise toplam altı çifte bakmamız gerekir: A-B, A-C, A-D, B-C, B-D, C-D. 23 kişiyle toplam 253 farklı çift oluşturulabilir.* Şimdi işin rengi değişti: 253 farklı çiftten birinin 365 günden birini ortak doğum günü olarak paylaşıyor olmaları akla yatkın geliyor.

Olasılıkları tam hesaplayabilmek için bir çiftle başlayıp teker teker yeni insanlar ekleyelim ve olasılıkların nasıl değiştiğine bakalım. Bunu yapmak için iki kişinin aynı doğum günü paylaşma olasılıklarına değil, yeni gelen kişinin öncekilerden farklı bir doğum gününe sahip olma olasılığına bakacağız. Örneğin, ikinci kişinin doğum gününün birinciden farklı olma olasılığı 364/365, çünkü bir gün hariç diğer 364 günden herhangi birinde doğmuş olabilir. Üçüncü kişinin doğum gününün ilk ikisinden farklı olma olasılığı 363/365. Yalnız bu arada ilk ikisinin de farklı doğum günleri olması gerektiğini unutmamalıyız (364/365). Olasılık kuramında, iki farklı olayın birlikte olma olasılığını hesaplarken ikisinin olasılıklarını çarpabiliriz. Bu yüzden ikincinin doğum gününün birinciden farklı ve üçüncünün ilk ikisinden farklı olma olasılığı: $364/365 \times 363/365 = 0,9918$ olur. Bu bulduğumuz, ilk üçünün doğum gününün *farklı*

* Matematikte bunu hesaplamak için kombinasyon formülünü kullanırız. Bizim durumumuzda:

$$\binom{23}{2} = \frac{23 \times 22}{2} = 253$$

olma olasılığı; üçünden ikisinin (veya üçünün) *aynı* olma olasılığıysa $1 - 0,9918 = 0,0082$ olur. Beklediğimiz gibi, üç kişi varken doğum günlerinin çakışma olasılığı bir hayli düşük.

Bu işlemi sürdürelim: her yeni gelenin doğum gününün öncekilerden farklı olma olasılığını, öncekilerin olasılığıyla çarparak, bu sayı 0,5'in, yani %50'nin altına düşene dek insanları birer birer odaya alalım. Bu noktada, en az iki kişinin doğum gününün *aynı* olma olasılığı %50'yi geçmiş oluyor. Hesaplarsak, toplam 23 kişi (23 çarpan) olunca aradığımız sayıya ulaşıyoruz:

$$\frac{364}{365} \times \frac{363}{365} \times \frac{362}{365} \times \frac{361}{365} \times \frac{360}{365} \times \dots = 0,4927 \dots$$

← 23 kesir birbiriyle çarpılıyor →

Haliyle 23 kişi arasında en az ikisinin doğum gününün aynı olma olasılığı:

$$1 - 0,4927 = 0,5073 = \%50,73 \quad \text{oluyor.}$$

Bilmeceyi çözebilmek için olasılık kuramından faydalandık. Sıradaki bilmeceyse bir bakıma daha dolambaçsız. Bu durum onu daha da etkileyici yapıyor. Bu aynı zamanda benim en sevdiğim doğru-çıkarmıli paradoks, çünkü hem ifade etmesi, hem de açıklaması çok kolay; ne var ki sindirmesi çok zor.

Monty Hall Paradoksu

Kökü Bertrand'ın Kutusu Paradoksu'na dayanan bu paradoks, matematikçilerin "koşullu olasılık" dedikleri kavramın gücünü gözler önüne serer. Soruyu ilk olarak Amerikalı matematikçi Martin Gardner 1959'da, *Scientific American* dergisindeki "Mathematical Games"*

* Matematiksel Oyunlar

adlı köşesinde “Üç Hırsız Sorusu” adıyla sormuştur. Monty Hall Paradoksu, benim fikrimce Gardner’ın sorusunun hem daha üstün, hem de daha açık bir uyarlamasıdır. Konusu, uzun süre yayında kalan “Let’s Make a Deal” adlı Amerikan yarışma programında geçer. Zaten sorunun adı da şov dünyasına katılınca adını Monty olarak değiştiren, yarışmanın Kanadalı karizmatik sunucusu Monte Hall’dan gelir.

California Üniversitesi, Berkeley’de çalışan Amerikalı istatistikçi ve profesör Steve Selvin, eğitim ve danışmanlık konularında ödülleri olan ünlü bir eğitimcidir. Bir akademisyen olarak tıpta, özellikle de biyoistatistik alanında matematiksel çalışmalar yapmıştır. Bununla birlikte dünya çapındaki ününü bu alandaki başarılarına değil, Monty Hall Paradoksu’na dair yazdığı bir makaleye borçludur. *The American Statistician* dergisinin Şubat 1975 tarihli sayısında yayınlanmış yarım sayfalık bir yazıdır bu.

Selvin kısa makalesinin böylesi büyük tepki yaratacağını aklının ucundan bile geçirmiyordu. Sonuçta dergi, neredeyse sadece akademisyenler ve eğitimciler tarafından okunan bir uzmanlık dergisiydi –nitekim sorunun ve çözümünün popüler kültür tarafından farkına varılması 15 sene almıştır. Eylül 1990’da, satış rakamı on milyona varan Amerikan *Parade* dergisinin bir okuru, bilmeceyi Marilyn vos Savant’ın okur sorularını ve bilmecelerini yanıtladığı “Ask Marilyn”* köşesine gönderir. Vos Savant, 1980’lerin ortalarında *Guinness Rekorlar Kitabı*’na dünyanın en yüksek IQ’suna sahip insanı (ölçülen değer 185) olarak girince ünlü oldu. Derginin bizim bahsettiğimiz sayısında Craig F. Whitaker’ın vos Savant’a sorduğu soru, Selvin’in Monty Hall Paradoksu’nun baştan düzenlenmiş haliydi. Ne olduysa bundan sonra oldu.

Sorunun ve Marilyn vos Savant’ın yanıtının *Parade*’de yayınlanması, önce bütün ülkede, ardından da bütün dünyada dikkat çekmesini sağladı. Vos Savant’ın yanıtı, her ne kadar sağduyuya aykırı da olsa, tıpkı Selvin’in özgün çözümü gibi tamamıyla doğrudu. Fakat cevabın yanlış olduğunu göstermek isteyen öfkeli matematikçilerin

* Marilyn’e Sorun

mektupları dergiye yağmaya başladı. İşte onlardan bazı bölümler:

Meslekten bir matematikçi olarak, halkın matematik konusundaki bilgisizliğinden endişe duymaktayım. Eğer siz de bu durumu umursuyorsanız, lütfen hatanızı kabul edin ve ileride daha dikkatli olmaya çalışın.

Bu sefer baltayı taşa vurdunuz, hem de çok kötü vurdunuz! Buradaki temel ilkeyi anlamakta zorluk çekiyorsunuz anlaşılan ... Bu ülkede zaten yeterince matematik cahilliği var; bir de dünyanın en yüksek IQ'lusunun katkılarına ihtiyaç yok. Yazıklar olsun!

Bir dahaki sefere bu türden bir soruyu yanıtlamaya çalışırken olasılıkla ilgili standart bir ders kitabına başvurmanızı tavsiye ederim.

En az üç tane matematikçinin göstermesine rağmen hâlâ hatanızı görüyorsunuz. Şok içindeyim!

Belki de matematik problemlerinde kadın kafası erkeklerinkinden farklı çalışıyordur.

Kızgınlıkları sonradan mahcubiyete dönüşecek olan yığınla insan. Savant daha sonraki sayılardan birinde soruya tekrar dönüp ilk yazdıklarını açık ve inandırıcı bir dille savundu. 185 IQ'lu birinden de bu beklenir. Sonunda hikâye *New York Times*'a konu oldu ve tartışma sürüp gitti. (Merak ederseniz yazılanları internetten arayıp bulabilirsiniz.)

Söylediklerime bakıp da bu paradoksu anlamak için dâhi olmak lazım sanmayın sakın. Aslına bakarsanız bunu açıklamanın pek çok basit yolu var; internette de açıklayıcı makaleler, bloglar, hatta YouTube videoları bulabilirsiniz.

Her neyse, bu kadar girizgah ve tarih muhabbeti yeter; artık soruya geçelim. Steve Selvin'in *The American Statistician*'da yayınlanan 1975 tarihli eğlenceli yazısından başlamak sanırım en doğrusu olacak:

BİR OLASILIK PROBLEMİ

Monty Hall'un sunduğu "Let's Make A Deal"* televizyon yarışma programındayız.

Monty Hall: A, B, C diye harflendirdiğimiz üç kutudan birinde yeni 1975 model Lincoln Continental marka arabanın anahtarları var. Diğer ikisi boş. Eğer içinde anahtarların olduğu kutuyu bulursanız, araba sizin demektir. (Yarışmacı sesli şekilde yutkunur.) Kutulardan birini seçin lütfen.

Yarışmacı: B kutusunu seçiyorum.

Monty Hall: A ve C kutuları masada kalsın, siz B kutusunu alın. (Yarışmacı B kutusunu sıkıca kavrar.) Arabanın anahtarları o kutuda olabilir. O kutuya 100 dolar veririm.

Yarışmacı: Hayır, teşekkür ederim.

Monty Hall: Peki 200'e ne dersiniz?

Yarışmacı: Hayır!

Seyirciler: Hayır!!

Monty Hall: Unutmayın, anahtarların sizin kutunuzda olması ihtimali üçte bir; kutunuzun boş olma ihtimaliyse üçte iki. 500 dolar teklif ediyorum.

Seyirciler: Hayır!!

Yarışmacı: Hayır, kutumu açmanızı tercih ediyorum.

* Gelin Anlaşalım

Monty Hall: Size bir iyilik yapıp masadaki kutulardan birini açacağım (A kutusunu açar). Boş çıktı! (Seyirciden alkış sesleri). Arabanın anahtarları ya C kutusunda ya da sizin tuttuğunuz B kutusunda. İki kutu kaldığına göre anahtarların sizin kutunuzda olma ihtimali yarı yarıya. Kutunuza 1000 dolar teklif ediyorum.

Durun bir dakika!!!!

Monty haklı mı gerçekten? Yarışmacı masadaki kutulardan en az bir tanesinin boş olması gerektiğini biliyordu. O kutunun A kutusu olduğunu artık biliyor. Bu bilgi anahtarların kendi tuttuğu kutuda olma olasılığını üçte birden üçte ikiye çıkartır mı? Masadaki kutulardan biri zaten mutlaka boş olmak zorundaydı. Monty kutulardan hangisinin boş olduğunu göstererek yarışmacıya bir iyilik mi yapmış oldu? Yarışmacının arabayı kazanma olasılığı ikide bir mi yoksa üçte bir mi?

Yarışmacı: Ben elimdeki B kutusunu masadaki C kutusuyla değiş tokuş etmek istiyorum.

Monty Hall: Garip bir istek!!

İPUCU: Yarışmacı ne yaptığını biliyor!

Steve Selvin

Kamu Sağlığı Okulu

California Üniversitesi

Berkeley, CA 94720

Yukarıdaki yazıda Selvin sorunun can alıcı bir kısmını atlamış (bunun neden önemli olduğunu birazdan anlayacağız): Monty Hall'un anahtarların hangi kutuda olduğunu bildiğini, bu yüzden her seferinde

boş olan bir kutuyu açabildiğini net belirtmemiş. Gerçi şöyle bir cümle kuruyor: “Size bir iyilik yapıp masadaki kutulardan birini açacağım.” Ben bundan, Monty Hall’un açtığı kutunun boş olduğunu bildiğini anlıyorum. Öte yandan ben bu paradoksa aşınayım. Bu basit bir mesele gibi gözükse de –sonuçta böyle bir şey yarışmacı açısından olasılıkları nasıl etkileyebilir?– sonradan göreceğiz ki, bütün çözümleme, Monty Hall’un ne bilip ne bilmediğine bağlı.

The American Statistician dergisinin 1975 Ağustos sayısında Selvin bu noktayı açıklamak zorunda kaldı. Çünkü 15 yıl sonra Marilyn vos Savant’ın başına gelecekler onun da başına gelmiş, çözümünü kabul etmeyen matematikçilerin eleştirilerine mazur kalmıştı. Şöyle yazdı:

The American Statistician dergisinin 1975 Şubat sayısında yayınlanan “Bir Olasılık Problemi” başlıklı yazımla ilgili bir takım eleştiri mektupları aldım. Mektupların önemli bir kısmında cevabımın yanlış olduğu iddia ediliyor. Benim cevabımın temelinde Monty Hall’un anahtarların hangi kutuda olduğunu bilmesi yatıyor.

Soruyu daha dikkatli inceleyebilmemiz için, gelin bir de *Parade* dergisinde yayınlanan daha kısa ve ünlü haline bakalım. Bu versiyonda üç kutu üç kapıyla değiştirilmiş:

Bir yarışma programındasınız. Önünüzdeki A, B, C olarak harflendirilmiş üç kapıdan rasgele birini seçeceksiniz. Kapılardan birinin arkasında bir araba, diğer ikisinin arkasında birer keçi var. A kapısını seçtiniz diyelim; hangi kapının arkasında ne olduğunu bilen sunucu kalan kapılardan birini açıp arkasındaki keçiye gösteriyor. Ardından diyor ki: “Seçiminizi değiştirip C kapısını almak ister misiniz?” Bu durumda kapıları değiştirmek size bir avantaj sağlar mı?

Tabii yarışmacının arabayı keçiye tercih edeceğini varsayıyoruz. Yarışmacının keçi-sever bir bisikletçi olması durumunu göz ardı edeceğiz.*

Marilyn vos Savant’ın cevabı, tıpkı Steve Selvin’in yıllar önce verdi-

* Matematiksel açıdan daha önemlisi, sunucunun bu teklifi yaparken, yarışmacının kutusunda ne olduğunu dikkate almadığını varsayıyoruz. Kötü niyetli bir sunucu, bu teklifi daha çok yarışmacı doğru kapıyı seçtiğinde yapıyor olabilir. (ç.n.)

giyle aynıydı: yarışmacı ilk seçimini değiştirmelidir, çünkü bu durumda kazanma şansını üçte birden üçte ikiye çıkartarak tam ikiye katlar. Fakat bu nasıl olabilir? Zurnanın zırt dediği yer tam da burası.

Böyle bir seçim şansı sunulan çoğu yarışmacı doğal olarak işin içinde bir bit yeniği mi var diye düşünecektir. Ödülün her kapı arkasında olma olasılığı eşit olduğuna göre, neden ilk seçim olan A kapısını değiştirelim ki? Yarışmacının gözünden bakacak olursak, araba ya A kapısının arkasında ya da C kapısının. Dolayısıyla seçimini değiştirmiş veya değiştirmemiş bir şey farketmese gerek.

Oldukça süpheli ve kafa karıştırıcı bir durum var ortada. Meslekten matematikçilerin bile neden şaşırdığını anlayabiliyoruz. Şimdi gelin paradoksu birkaç farklı yoldan açıklamaya çalışalım.

Olasılık kontrolü

Seçiminizi değiştirdiğinizde gerçekten de şansınızı ikiye katladığınızı ispatlamanın en özenli, en metodik, en sağlam yoluna bakacağız. Başta A kapısını seçtiğinizi unutmayın. Arabanın nerede olduğunu bilen Monty Hall diğer iki kapıdan birini açıp arkasındaki keçiyi gösterdi ve şimdi size kapınızı C ile değiştirme teklifi sunuyor.

A kapısına sadık kalırsak ne oluyor ona bakalım.

Araba eşit olasılıkla her üç kapının da arkasında olabilir:

❑ Eğer A'nın arkasındaysa B veya C'nin açılmış olması fark etmez: **KAZANDINIZ.**

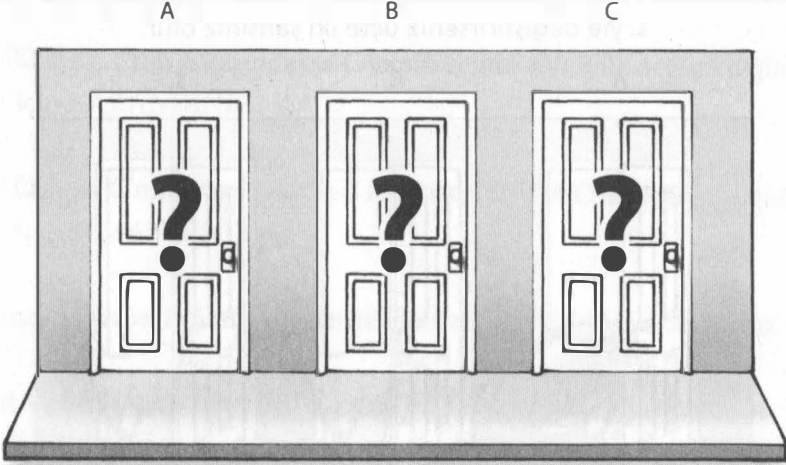
❑ Eğer B'nin arkasındaysa sunucu C kapısını açacak. Siz A kapısında ısrar ettiğiniz için **KAYBETTİNİZ.**

❑ Eğer C'nin arkasındaysa sunucu B kapısını açacak. Siz A kapısında ısrar ettiğiniz için **KAYBETTİNİZ.**

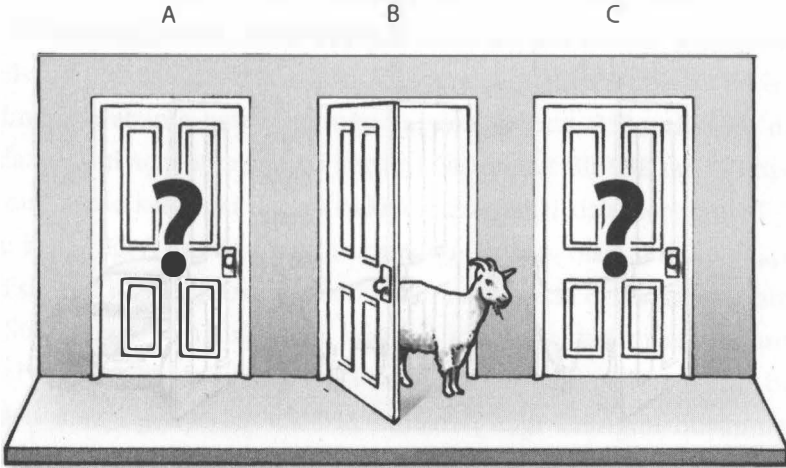
Demek ki ilk seçimimize bağlı kalırsak üçte bir olasılıkla kazanıyoruz.

Şekil 1.2. Monty Hall Paradoksu: soru

Ödül üç kapıdan birinin arkasında . . .

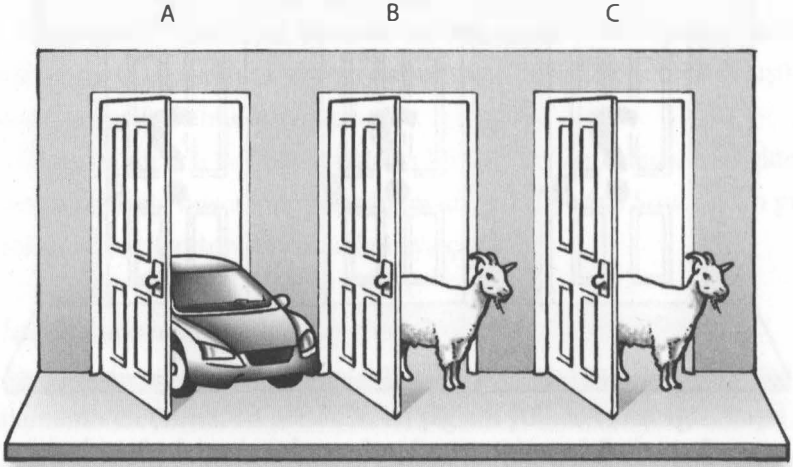


Sunucu B kapısını açarak arkasındaki keçiyi gösteriyor. Bu durumda ilk seçiminiz olan A kapısına sadık mı kalırsınız yoksa C'yle değiştirir misiniz?

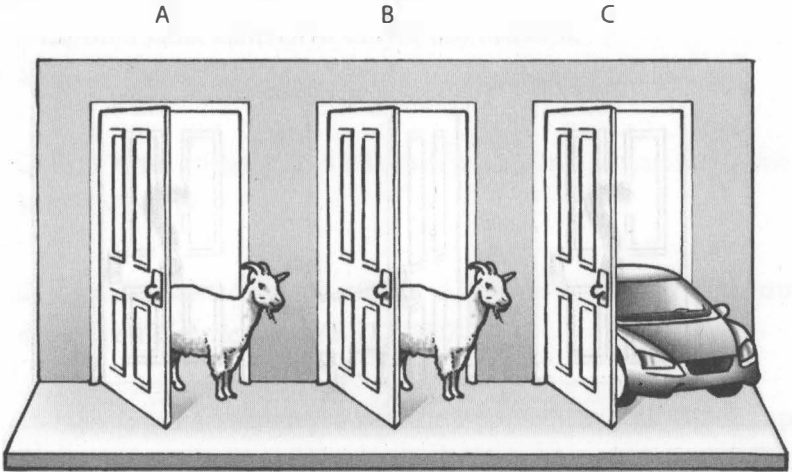


Şekil 1.3. Monty Hall Paradoksu: cevap

Eğer arabanın nerede olduğunu bilen sunucu B kapısını açıp arkasındaki keçiyi gösterirse, seçiminizi değiştirmezseniz üçte bir, C'yle değiştirirseniz üçte iki şansınız olur.



A'da ısrar ederseniz $1/3$.



C'yle değiştirirseniz $2/3$.

Şimdi de seçimi değiştirme seçeneğini inceleyelim:

☐ Eğer A'nın arkasındaysa B veya C'nin açılmış olması fark etmez: KAYBETTİNİZ.

☐ Eğer B'nin arkasındaysa C kapısı açıldı: A'yı B ile değiştirdiğiniz için KAZANDINIZ.

☐ Eğer C'nin arkasındaysa B kapısı açıldı: A'yı C ile değiştirdiğiniz için KAZANDINIZ.

Demek ki ilk seçimimizi değiştirirsek üçte iki olasılıkla kazanıyoruz.

Matematik kullanmadan ispat – sezgisel yaklaşım

Aslında bu teknik açıdan bir ispat sayılmaz; daha ziyade, cevabı matematik kullanmaksızın kabullenmeyi kolaylaştıran bir yol.

Üç kapı değil de bin tane kapı olsun: birinin arkasında araba, diğer 999'unun arkasında keçi var. Gelişigüzel bir tane seçiyorsunuz –diye- lim ki 777 nolu kapı. İsterseniz başka nedenlerden dolayı başka bir numara da seçebilirsiniz, fakat değişmeyecek bir gerçek var: münecim değilseniz, arkasında araba olan kapıyı seçme olasılığınız binde bir. Ardından arabanın nerede olduğunu bilen sunucu, 238 nolu kapı dışında hepsini açıp arkasındaki keçileri gösteriyor. Bir 998 tane keçiye, bir önünüzde kalan iki kapıya bakıyorsunuz: biri sizin seçtiğiniz 777 nolu kapı, diğeri de sunucunun açmadığı tek kapı olan 238 nolu kapı. Peki şimdi ilk seçiminizde sadık mı kalırsınız, yoksa değiştirir misiniz?

Sunucunun açmadığı o tek kapıda şüpheli bir durum sezmez misiniz? Onun bilip de sizin gelişigüzel seçim yaparken bilmediğiniz bir şeyden dolayı geriye bir tek 238 numaralı kapı kaldığını düşünmez misiniz? Unutmayın, sunucu arabanın nerede olduğunu biliyor. Siz arkasında büyük olasılıkla keçi olan seçiminizi yaparken seyretti, ardından arkasında keçi olan 998 tane kapı açtı. İlk seçiminizi kalan bu

son kapıyla değiştirmeye can atmaz mısınız? Tabii ki atarsınız, çünkü doğru olan da bu: araba neredeyse kesinlikle 238 numaralı kapının arkasında; Monty o yüzden onu elemedi.

Bunu daha matematiksel ifade edelim: İlk seçiminiz kapıları iki kümeye ayırdı. Birinci kümede bir tek seçtiğiniz araba var –arabanın bunda olma olasılığı üçte bir (1000 kapılı örnekte 1000’de 1). İkinci kümede geri kalan tüm kapılar var –arabanın burada olma olasılığı üçte iki (1000 kapılı örnekte 1000’de 999). İkinci kümedeki arkasında keçi olan kapılardan birini (veya 998 tanesini) açıyoruz, geriye açılmamış tek kapı kalıyor. Fakat arabanın bu kalan kapının arkasında olma olasılığı üçte iki (veya 1000’de 999), çünkü arabanın ikinci kümede olma olasılığının tamamı bu kapıya geçti. Arkasında keçi olan kapıları açmazsak, arabanın ikinci kümede olma olasılığını değiştirmez.

Ön bilginin rolü

Artık ikna olmuşsunuzdur sanırım. Şimdi geri kalan şüpheleri de ortadan kaldırmak için, ön bilgiye sahip olmakla olmamak arasındaki kilit farkı açıkça vurgulayan bir başka örneğe bakalım.

Diyelim ki iki tane kedi yavrusu alacaksınız. Muhitinizdeki evcil hayvan dükkânını aradığınızda satıcı tam da o gün biri siyah, biri tekir, iki tane yavru geldini bildiriyor. Siz de cinsiyetleri ne diye soruyorsunuz. Satıcının verebileceği şu iki farklı yanıtı bakalım:

- a) “Henüz sadece bir tanesine bakabildim, erkekti.” diyor. Bu durumda iki kedi yavrusunun da erkek olma olasılığı nedir?
- b) “Tekir olana baktım, erkekti.” Bu durumda ikisinin de erkek olma olasılığı nedir?

İki şikkın yanıtları farklı çıkıyor. Her iki durumda da en az bir tanesinin erkek olduğunu bilmemize rağmen, yalnızca ikinci şıkta hangisinin erkek olduğunu biliyoruz. Bu ekstra bilgi olasılıkları değiştiriyor.

Açıklayalım. Toplam dört olasılığı sıralayalım:

	<i>siyah</i>	<i>tekir</i>
1	erkek	erkek
2	erkek	dişi
3	dişi	erkek
4	dişi	dişi

Şimdi (a) şıkkını düşünelim: “En az biri erkek.” Bu durumda yukarıdaki seçeneklerden ilk üçü olabilir: (1) ikisi de erkek; (2) siyah olan erkek, tekir olan dişi; (3) siyah olan dişi, tekir olan erkek. Dolayısıyla ikisinin de erkek olma olasılığı üçte bir.

(b) şıkkındaysa tekir olanın erkek olduğu bilgisi veriliyor. Bu ekstra bilgi sayesinde tablodan sadece 4. seçeneği değil, 2. seçeneği de eliyoruz: ya ikisi de erkek, ya da tekir olan erkek, siyah olan dişi. Artık ikisinin de erkek olma olasılığı ikide bir.

Yani erkek olduğunu bildiğimiz kedinin hangisi olduğunu öğrendiğimiz anda ikisinin de erkek olma olasılığı üçte birden, ikide bire çıkıyor. Bu, Monty Hall Paradoksu’ndakiyle tamamen aynı durum.*

Şüphecilerin “fakat bir dakika” dediğini duyar gibiyim, “Kedi hikâyesinde satıcı olasılıkları hesaplayabilmemiz için ekstra bilgiyi bize verdi; Monty Hall böyle bir şey yapmamıştı.” Bu itiraz bizi açıklamamızın son bölümüne getiriyor: önce Selvin’in 1975’te *The American Statistician*’da, ardından Marilyn vos Savant’ın *Parade* dergisinde 1990’da yayınlanan yazılarına yapılan itirazları nihayet açıklığa kavuşturabile-

* Buradaki iki kedinin durumu, Monty Hall Paradoksu’ndaki seçmediğimiz iki kapıyla benzerlik gösteriyor. İki kapının arkasında en az bir keçi olduğunu biliyoruz, buradaysa en az bir kedinin erkek olduğunu biliyoruz. Her ikisinin de keçi olma olasılığı (arabanın bizim kapımızın arkasında olma olasılığı) $1/3$, her iki kedinin de erkek olma olasılığı $1/3$. Tekirin erkek olduğunu öğrendiğimizde diğerinin farklı (dişi) olma olasılığı $1/2$, örneğin C kapısının arkasında keçi olduğunu öğrendiğimizde diğerinin farklı (araba) olma olasılığı $1/2$. (ç.n.)

ceğiz. Korkarım son bir kez daha Monty Hall Paradoksu'na dönmek zorundayız.

Sunucunun arabanın hangi kapı arkasında olduğunu *bilmediği* durumu ele alalım. Eğer B kapısını bilmeden açıp da arkasından keçi çıkarsa o zaman gerçekten de A ve C kapılarının arkalarında araba olma olasılıkları eşit, yani yarı yarıya olur. Neden? Oyunu 150 kere üst üste oynadığımızı düşünelim. Her oyundan önce tarafsız bir hakem geliyor ve arabanın yerini kimseye göstermeden değiştiriyor, öyle ki arabanın nerede olduğunu Monty Hall da bilmiyor. Eğer şimdi bir kapı seçerseniz ve Monty Hall diğer iki kapıdan birini rasgele açarsa, ortalama olarak her üç seferden birinde arabayı açacaktır. Yani 150 oyunun ortalama olarak 50'sinde arabayı açmış olur. Bu 50 seferde oyun kapı açılır açılmaz biter doğal olarak: arabayı kazanamadınız, artık devam etmenin anlamı yok. Geri kalan 100 seferdeyse sunucunun seçtiği kapının arkasından keçi çıkar. Bu 100 seferin 50'sinde araba sizin seçtiğiniz kapının arkasında, diğer 50'sinde diğer kapının arkasında olur. Kazanma olasılığınız yarı yarıya; kapıyı değiştirmenizin bir faydası olmaz.

Elbette sunucu arabanın yerini bilseydi, yanlışlıkla arabanın olduğu kapıyı açmaz, 50 denemeyi boşa harcamazdı. Özetleyecek olursak, diyelim ki her seferinde A kapısını seçiyorsunuz. Bu 150 seferin 50'sinde araba gerçekten A kapısının arkasındadır; dolayısıyla seçiminizi değiştirmezseniz kazanma olasılığınız üçte birdir. Geri kalan 100 seferin yarısında araba C kapısındadır, sunucu da B kapısını açar; diğer yarısında araba B kapısındadır, sunucu bu sefer C kapısını açar. Bu 100 seferin tamamında keçi olan kapıyı açtığı için araba diğer kapının arkasında saklı kalır. Eğer seçiminizi değiştirirseniz bu 150 seferden 100'ünde, yani her üç seferden ikisinde arabayı kazanırsınız.

Dene de gör

Marilyn vos Savant soruya dair son yazısında, soruyu test etmek için yapılan binden fazla okul deneyinin sonucunu açıkladı. Hemen hemen tüm sonuçlar, değiştirmenin doğru seçenek olduğunda hemfikir. Bir

kaç yıl önce bir arkadaşıma cevabı açıklamaya çalışırken bu “dene ve gör” yöntemine ben de başvurdum. BBC kanalına çekilen bir televizyon belgeselinin hazırlıkları sırasında uzun bir araba yolculuğuna çıktığımda, kameramanım Andy Jackson’a paradokstan bahsettim. İtiraf etmeliyim ki o sırada argümanlarımı ve açıklamalarımı burada yazdığım kadar geliştirmemiştim. Ben de biri kırmızı ikisi siyah üç iskambil kağıdını aldım, karıştırdım ve aramızdaki koltuğun üstüne bir sıra halinde kapalı olarak koydum. Ardından Andy’ye göstermeden kartların hangisinde kırmızı olduğuna baktım. Bir tanesini seçip, bakmadan elinde tutmasını söyledim. Ardından diğer ikisinden siyah olduğunu bildiğim bir tanesini ters çevirip Andy’ye isterse seçtiği kağıdı yerdeki kapalıyla değiştirebileceğini söyledim. Denemelerimizin sayısı daha yirmiyi bulmadan, kağıdı değiştirdiğinde şansını neredeyse ikiye katladığına ikna olmuştu. Nasıl olduğunu tam anlamasa da en azından haklı olduğumu kabul etmişti.

Umarım bu bölümü Andy de sizin gibi okur ve nedenini bunca zaman sonra anlar.

Evet, bu kadar geyik yeter. Adamakıllı fizik soruları bizleri bekliyor.

İKİ

Aşil ve Kaplumbağa

"Tüm devinim bir yanılsamadır"

DOKUZ PARADOKSUMUZUN birincisi iki bin beş yüz yıllık bir geçmişe sahip. Kafa patlatacak bunca zamanımız olunca, çözümün adamakıllı anlaşılmış ve açıklanmış olmasına şaşmamak gerek. Yine de ilk kez karşılaşıldığında insanın kafasını kaşımaya neden olabilir. MÖ 5. yüzyılda yaşamış Yunan filozofu Zeno'nun sorduğu bir dizi sorudan yalnızca biri olan bu paradoks, "Aşil Paradoksu" veya "Aşil ve Kaplumbağa Paradoksu" adıyla bilinir. Bir soyut mantık sorusu ancak bu kadar basit olabilir. Ama sanmayın ki mesele burada bitecek; bu bölümde Zeno'nun birkaç paradoksuna bakacak, ardından sadece kuantum kuramıyla açıklanabilecek bir versiyonuna bakarak Zeno'nun fikirlerini güncelleyeceğiz. Ben size zor konulara girmeyeceğim demedim ki!

Fakat gelin önce Zeno'nun en ünlü paradoksundan başlayalım. Kaplumbağayla hızlı bir koşucu olan Aşil yarış yapacaklar. Kaplumbağa avans olarak yarışa Aşil'den önde başlayacak. Kaplumbağanın başlayacağı noktaya A noktası diyelim. Aşil kaplumbağadan çok daha hızlı ilerlediği için, kısa sürede A noktasına varıyor. Fakat bu sürede kaplumbağa da biraz ilerledi; bu yeni noktaya B noktası diyelim. Aşil B noktasına vardığında,

kaplumbağa C noktasına varıyor ve yarış böyle devam ediyor. Evet, Aşıl arayı azaltıyor azaltmasına, ama görünüşe bakılırsa kaplumbağayı asla geçemeyecek. Bir yerde hata yapıyoruz ama nerede?

İş bilmece bulmacaya, zekâ oyunlarına, genel olarak derin düşünceye geldiğinde Antik Yunanların eline kimse su dökemez. Hatta bu antik filozoflar o kadar zekice, o kadar derin görüşlü sözler söylemişlerdir ki, onların iki bin yıldan daha önce yaşadıklarını unutuveririz. Bugün bile, dâhilere örnek vermek istediğimizde, popülerliğini hiç yitirmeyen Einstein'ın yanında sık sık Sokrates, Eflatun ve Aristo'nun isimlerine yer veririz.

Zeno, günümüzün güneybatı İtalya'sındaki Antik Yunan şehri Eleada doğdu. Bir başka Elea filozofu Parmenides'in öğrencisi olması dışında hayatına dair pek bir bilgi yok elimizde. Aynı şehirden Melissus'la birlikte üçü, günümüzde "Eleatik hareket" denilen akımı kurdular. Temel anlayışları, dünyayı anlamak için asıl olarak duyularımıza ve duyuusal deneyimlerimize değil, mantık ve matematiğe güvenmemiz gerektiği idi. Genel olarak akıllıca diye nitelendirebileceğimiz bu yaklaşım, birazdan göreceğimiz üzere, Zeno'yu yanlış yollara sokmaktan da geri kalmamıştı.

Bize kalan fikirlerinden anlayabildiğimiz kadarıyla Zeno, kendi pozitif görüşlerini dile getirmekten ziyade başkalarının görüşlerini çürütme-ye kendini adanmıştı. Buna rağmen, Zeno'dan bir asır sonra yaşamış olan Aristo, onu "diyalektik" denen tartışma türünün kurucusu kabul eder. Diyalektik, özellikle Eflatun ve Aristo gibi Antik Yunanların ustalaştığı, fikir ayrılıklarını akıl ve mantıkla çözmeye çalışan uygar bir tartışma şeklidir.

Zeno'nun özgün çalışmalarından sadece bir tanesi günümüze kalmıştır. Onun çalışmalarını asıl olarak Eflatun ve Aristo gibi diğer filozofların yazılarından biliyoruz. Zeno kırk yaşlarındaiken Atina'ya gitti ve genç Sokrates'le tanıştı. Hayatının sonraki dönemlerinde aktif Yunan politikasına atıldı. Elea'nın yerel yöneticisine karşı bir komploda parmağı olduğu için hapse girdi ve işkence yapılırken öldü. Hikâyeye göre komploya katılan yandaşlarına ihanet etmektense dilini ısırp koparmış ve işkencecilere tükürmüştür. Fakat onu asıl ünlü yapan Aristo'nun büyük eseri *Fizik*'te bizlere sunduğu bir dizi paradokstur. Toplamda kırk tane olduğu düşünülen

paradoksların yalnızca birkaç tanesi günümüze ulaşabilmiştir.

En ünlü dört paradoksu olan, Aristo'nun verdiği isimlerle Aşil, Dikotomi, Stadyum ve Ok paradoksları da dahil olmak üzere, Zeno'nun tüm paradoksları hiçbir şeyin asla değişmediği ana fikrini savunur: devinim bir yanılısamadan ibarettir ve aslında zaman diye bir şey yoktur. Şüphesiz felsefe, Yunanların en usta oldukları konuydu. "Tüm devinim bir yanılısamadan ibarettir" türünden cafcaslı ifadelerle kışkırtıcı soyutlamalar yapmak konusunda şöhet sahibiydiler. Günümüzde bu tür paradoksları bilimsel yollardan çökertebiliyoruz; fakat o kadar eğlenceliler ki kitaba almadan edemedim. Bu bölümde sırasıyla bunlara bakacak ve biraz dikkatli bilimsel incelemeyle nasıl çözüldüklerini göreacağız.

Aşil ve Kaplumbağa

Zeno'nun paradokslarından en çok bunu seviyorum, çünkü ilk başta kulağa gayet mantıklı gelse de vardığı umulmadık sonuç mantığa tamamen ters. Aşil Yunan mitolojisindeki en büyük kahramandır; gücü, cesareti ve askeri meziyetleri müthiştir. Yarı insan, yarı insanüstü olan Aşil'in babası Teselya kralı Peleus, annesiye Thetis adlı deniz tanrıçasıdır. Homeros'un Troya savaşını anlattığı eseri *İlyada*'da önemli rol oynar. Daha genç bir çocukken bile ceylan yakalayabilecek kadar hızlı, bir aslanı öldürebilecek kadar güçlü olduğu söylenir. Zeno hantal kaplumbağaya rakip olarak bu efsane kahramanını seçtiğine göre olabildiğince uç bir örnek peşindeydi anlaşılan.

Aslında bu paradoksun çıkış noktası, Zeno'dan bir asır önce yaşamış olan Antik Yunan masalcısı Ezop'un kaplumbağa ve tavşan fablıdır. Özgün fablda kaplumbağa, kendisiyle alay eden tavşanı yarışa davet eder. Kibirli tavşan, öğlen uykusu için yeterli zamanı olduğunu düşünerek yarışın ortasında uyur, ancak uyandığında disiplinden kopmayan kaplumbağayı yakalamak için artık çok geç kalmıştır.

Zeno'nun versiyonunda hızlı Aşil, tavşanın rolünü almıştır. Tav-

şandan farklı olarak, tamamen görevine odaklanmış durumdadır, ne var ki kaplumbağaya avansı verdiğinde kendi sonunu hazırlamış olur, çünkü yarış ne kadar uzun olursa olsun, bir türlü kaplumbağayı yakalayamamakta, artık Antik Yunancada her nasıl söyleniyorsa fotofinişle bile olsa, kaplumbağa yarışı hep kazanmaktadır. Zeno'nun anlattığına bakılırsa Aşil ne kadar hızlı koşarsa koşsun, kaplumbağa da ne kadar yavaş olursa olsun Aşil asla kaplumbağayı geçemeyecektir. Öte yandan gerçek hayatta böyle olmayacağını adımız gibi biliyoruz.

Bu durum, yakınsayan sonsuz seri dediğimiz kavramdan haberdar olmayan, hatta aslına bakarsanız sonsuzluk kavramından gerçek anlamıyla haberdar olmayan Yunan matematikçiler için tam bir muammaydı (bu kavramları birazdan kısaca açıklayacağım). Böylesi meseleler üzerine akıl yürütme konusunda çaylaktan sayamayacağımız Aristo, Zeno'nun paradoksunu “safsata” olarak değerlendiriyordu. Sorun şuydu ki Antik Yunanistan'da ne Aristo, ne de diğerleri fiziğin en temel cebirsel formüllerinden olan “hız eşittir yol bölü zaman” formülünü tam anlamış değildi. Bugün çok daha fazla bilgiye sahibiz.

“Aşil asla kaplumbağayı geçemeyecektir” ifadesi elbette yanlış. Her aşamada mesafeler (A ile B arasındaki, B ile C arasındaki vs.) gittikçe azalırken zaman dilimleri de gittikçe azalıyor. Sonsuz aşamalı bir işlemin sonsuz zaman sürmesi gerekmez. Aslında bakarsanız, tüm aşamaların sürelerini topladığımızda sonlu bir süre ortaya çıkıyor: Aşil'in kaplumbağayı yakalayacağı ana kadar geçen süre! Sonsuz sayının toplamının da illa sonsuz olması gerekmez. Çoğu insan bunu bilmediğinden paradoksu duyunca kafaları karışıyor. Kulağa garip gelse de, sonsuz aşamalı bir işlem sonlu sürede bitebilir; bu sayede kaplumbağa da kolayca yakalanıp geçilebilir. Sorunun çözümünü anlayabilmek için matematikçilerin “geometrik seri” dedikleri kavramı bilmemiz gerekiyor.

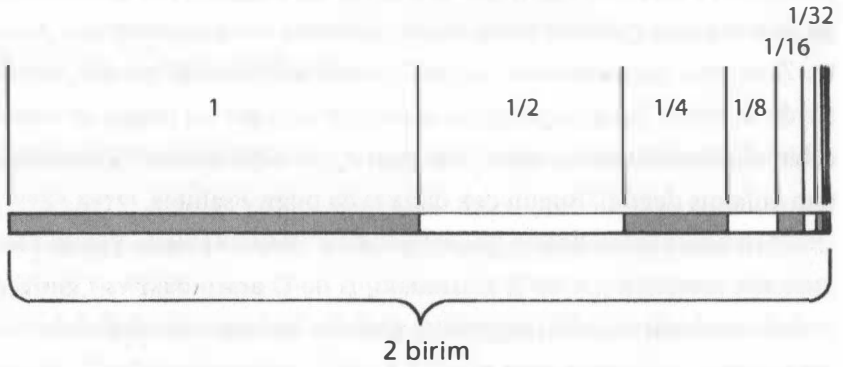
Şu örneğe bakalım:

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} \dots$$

Her biri bir öncekinin yarısı olan sayıları birbirine eklediğimizde sonuç gittikçe 2'ye yaklaşır. Düz bir çizgi çizin ve sonra ucuna aynı doğrultuda bunun yarısı uzunluğunda bir çizgi ekleyin. Ardından son çizdiğiniz kısmın yarısı kadar bir çizgi daha ekleyerek devam edin, ta ki eklediğiniz parçalar küçülüp görülmeyecek boyuta gelene kadar. Eğer ilk çizginin uzunluğu bir birimse (santimetre, metre veya kilometre olması farketmez), toplam çizginin uzunluğu iki birime çok yakın olacaktır.

Şekil 2.1. Sonsuz yakınsak seri

Sonsuza kadar gittikçe azalan uzunlukları topladığımızda sonucun sonsuz olması gerekmez, çünkü toplanan uzunluklar sürekli kısalıyor.



Bunu paradoksa uygulamak istersek, herhangi bir aşamada Aşil ve kaplumbağanın bulundukları noktaları değil, aralarındaki sürekli azalan mesafeyi göz önünde bulundurmamız gerekir. Her ikisi de sabit hızla ilerlediklerine göre, aralarındaki mesafe belli bir hızla azalmalıdır. Örneğin Aşil kaplumbağaya 100 metre avans versin ve aradaki mesafeyi saniyede 10 metre kapatıyor olsun. Bu durumda Zeno'ya göre ne olur? Aralarındaki mesafe 5 saniye sonra yarıya iner, 2,5 saniye sonra tekrar yarıya iner, 1,25 saniye sonra tekrar yarıya iner vs. Eğer istersek bu sürekli küçülen zaman dilimlerindeki sürekli küçülen mesafeleri toplayabiliriz, fakat başından beri biliyoruz ki, aradaki farkı saniyede 10 metre kapatan Aşil, 100 met-

relik farkı 10 saniyede kapatır ve kaplumbağayı yakalar. Bu 10 saniye aynı zamanda azalan süreleri topladığımızda elde ettiğimiz sayıdır: 5 saniye + 2,5 saniye + 1,25 saniye + 0,625 saniye + ... Eklenen sayılar bir süre sonra o kadar küçülür ki toplamaları 9,9999... olduğunda artık bu kadarı yeterli deyip bırakabiliriz. Demek ki 10 saniye sonra Aşil tahmin ettiğimiz gibi kaplumbağanın yanından geçiyor olacak (tabii bir bira molası vermezse –Zeno açıklamasında bu varsayımı belirtmeyi gerekli bulmadı anlaşılan).

Dikotomi Paradoksu

Bir önceki Aşil Paradoksu'na benzer bir temaya sahip olan bu paradoks hareketi tümünden yadsır. Şöyle ifade edebiliriz:

Hedefimize ulaşmak için önce yolun yarısını gitmemiz gerekir. Fakat yolun yarısını gitmek için önce çeyreğini gitmemiz gerekir. Fakat çeyreğini gitmek için önce sekizde birini gitmemiz gerekir, vs. Eğer gitmemiz gereken mesafeyi durmadan ikiye bölersek, ilk ara hedefe bile ulaşmamız imkânsızdır, o yüzden asla yola çıkamayız. Daha da ötesi, bu gittikçe kısalan mesafeler sonsuz olduğundan, bir yolu kat etmek için yapılacak sonsuz sayıda iş vardır, dolayısıyla asla bitmez. Madem ne yola çıkabiliyoruz, ne de yolu bitirebiliyoruz, öyleyse hareket imkânsızdır.

Bu paradoksu bize aktaran Aristo, saçmalığın farkında olsa da bu argümanı mantık kurallarını kullanarak yadsımanın yollarını aradı. Sonuçta hareket diye bir şey olduğu su götürmez bir gerçek. Zeno'nun kullandığı tartışma yöntemine *olmayana ergi* yöntemi diyoruz: bir fikrin yanlışlığını göstermek için, önce doğru olduğunu varsayıp ardından yol açtığı saçma sonuçları gösterme yöntemi. Zeno'nun matematikçi olmadığını da unutmamalıyız. Sadece soyut mantığa göre tartışıyordu ki bu çoğu zaman yeterli değildir. Diğer Yunan filozoflar Zeno'nun hareketin yanılsamadan

ibaret olduğu iddiasını çürütmek için daha dolaysız ve pragmatik bir yol seçmişlerdi. “Kinik” Diyojen de bunlardan biriydi.

Kinik sözcüğü Antik Yunanistan'daki idealist bir felsefi akımdan gelir. Kinikler serveti, gücü, şöhreti, hatta herhangi bir şeye sahip olmayı reddeder, her türlü alışlageldik insani ahlaksızlıktan uzak, basit bir yaşam sürerlerdi. Tüm insanların eşit olduğuna, dünyanın herkese eşit derecede ait olduğuna inanırlardı. Herhalde kiniklerin en ünlüsü, dördüncü yüzyılda, Eflatun zamanında yaşamış olan Diyojen'dir. Diyojen'in bazı harika deyişleri günümüze kadar kalmıştır: “Yüz kızarıklığı, erdemin rengidir,” “Köpekler ve filozofların ortak yönü, en büyük iyilikleri yapıp en küçük ödülleri almalarıdır,” “En zengin kişi, en azla yetinendir,” “Cahil olduğum dışında hiçbir şey bilmiyorum.”

Diyojen Kinik öğretiyi mantıksal uçlarına götürdü. Yoksulluğu bir erdem sayıyordu. Yıllarca Atina'nın pazar yerinde, bir küvetin içinde yaşamıştır. Her şeye şüpheyile ve küçümseyerek bakmasıyla ün salmıştı. Sokrates ve Eflatun gibi yüksek saygınlık kazanmış filozofların öğretilerine karşı bile aynı tavrı sergiliyordu. Zeno'nun Dikotomi Paradoksu'nu duyduğu zaman ayağa kalkarak yürüyüp gitmiş, Zeno'nun vardığı sonuçların saçmalığını böylece göstermiştir.

Diyojen'in pratik yaklaşımını alkışlasak da, Zeno'nun mantığının gerçekte neden uyuşmadığını incelemek zorundayız. Aslına bakarsanız bu artık çok da zor değil, sonuçta düşünmek için 2000 yıldan uzun bir süremiz oldu. Ne olursa olsun, sırf sezgilerimiz Zeno'nun paradoksunun yanlış olduğunu söylüyor diye elimizle bir kenara atamayız. En azından ben öyle yapamam. Hayatının büyük bölümünde fizikçi olarak çalışmış, daha da önemlisi bir fizikçi gözüyle dünyaya bakmış biri olarak, Dikotomi Paradoksu'nun yanlışlığını sadece sezgiyle, felsefi veya mantıksal savlarla göstermek tatmin etmez beni. Kaya gibi sağlam fiziksel nedenleri görmeliyim ki tam anlamıyla ikna olayım.

Yapmamız gereken Zeno'nun mesafeyle ilgili savını zamana uyarlamak. Gidilecek yolun başlama noktasına geldiğimizde zaten sabit bir hızla ilerliyor olduğumuzu varsayalım. Zeno'nun pek iyi anlamadığı hız kav-

ramı, sonlu zamanda belli bir mesafe yol kat etmek demektir. Gitmeniz gereken mesafe kısaltıldıkça, gitmeniz gereken süre de kısalır; fakat mesafeyi süreye böldüğünüzde hep aynı cevabı elde edersiniz: hızınızı. Ve zaman, bizim kendisini gittikçe küçülen yapay parçalara nasıl böldüğümüzü umursamaksızın aynı şekilde akar gider. Zamanı uzaklık için yaptığımız gibi sonsuza dek bölünebilecek sabit bir çizgi gibi düşünmekte yanlış olan bir şey yok (fizik problemleri çözerken zamanı sık sık bu şekilde düşünürüz zaten); asıl sorun, kafamızdaki zaman *algısının* sabit bir çizgi gibi olmamasından kaynaklanıyor. Zamanın akışının dışına çıkaramayız kendimizi. Zaman hep akmaya devam eder, biz de onunla birlikte gideriz.

Olaya başta hareket halinde olmayan, dururken harekete başlayan birinin gözünden bakacak olursak, işin fiziki birazcık daha karmaşıklaşır. Okulda Newton'un ikinci yasasını hepimize öğretirler (çoğumuz da hemen unuturuz) –bir cismi harekete geçirmek için, üzerine kuvvet uygulanması gerekir. Bu onun ivmelenmesine, durağan haldeyken hareketli hale geçmesine neden olur. Fakat bir kez harekete başladı mı, önceki açıklama yine geçerli hale gelir: zaman içinde katedilen mesafeler giden cismin hızına bağlıdır. Bu hızın sabit olması da gerekmez. Diyebiliriz ki Dikotomi Paradoksu, fiziksel dünyadaki gerçek harekete uymayan ilgisiz bir soyutlamadır.

Konuyu kapatmadan önce son bir noktaya değinmeliyim. Albert Einstein'ın görelilik kuramı, Dikotomi Paradoksu'nu rafa kaldırırken kendimizden bu kadar emin olmamamız gerektiğini bize öğretir. Einstein'a göre zaman, uzaya benzer bir şekilde değerlendirilebilir –hatta Einstein “uzay-zaman” denilen modelinde, zamandan dördüncü bir eksen, veya dördüncü bir boyut gibi bahsetmiştir. Bu model, zamanın bir yanılsamadan başka bir şey olmadığını ima eder. Öyleyse hareket de bir yanılsamadır. Görelilik kuramının başarısına rağmen, bu düşünce tarzına itiraz ediyorum, çünkü aksi taktirde deneysel bilimin sağlam topraklarından çıkıp fizikötesinin karanlık sularına dalarız.

Einstein'ın görelilik kuramı yanlıştır demiyorum elbette. Fakat Einstein'ın fikirlerinin etkilerini hissettirmesi için, cisimlerin hızlarının çok

yüksek –ışık hızına yakın– olması gerekir. Normal günlük hızlarda bu tür “görelî” etkileri görmezden gelebilir, uzay ve zamanı alışlageldik anlam- larında düşünebiliriz. Sonuçta Zeno’nun savını mantıksal uç noktasına götürecek olursak, uzayın ve zamanın sonsuz küçüklükte ama hâlâ ayrık süre ve mesafelere bölünebileceği zaten doğru değildir. Bir noktadan sonra parçalar o kadar küçülür ki kuantum fiziği devreye girer; zaman ve uzay kavramları bulanıklaşır ve tanımlanamaz olur; artık daha fazla bölmek anlamını yitirir. Aslına bakarsanız, atomların ve atomaltı parçacıkların kuan- tum dünyasında, bizzat hareketin bile anlamı yanıltıcı olmaya başlar. Ama tabii Zeno bunları kastetmiyordu.

Soruyu bu bağlamda incelemek eğlenceli olsa da, Zeno’nun dikotomi- sini açıklayabilmek için kuantum fiziği veya görelilik kuramı gerekmiyor. Modern fiziğin bu tür fikirlerini kullanarak tüm hareketin bir yanılsama- dan ibaret olduğunu savunursak, konunun özünü atmış ve fiziği tehlikeli biçimde metafiziğe yaklaştırmış oluruz. İyisi mi, işleri olması gerekenden daha karmaşık hale getirmeyelim. Kitabın ilerleyen bölümlerinde çılgın fi- kirler için yeterince zamanımız olacak zaten, hiç merak etmeyin.

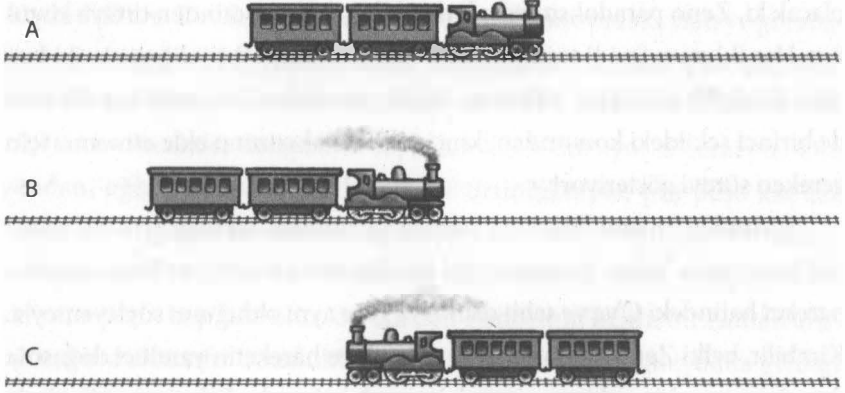
Stadyum Paradoksu

Bu konuyu kapattık. Zeno’nun hız kavramı üzerinde oyunlar oynayan bir başka paradoksu da Stadyum Paradoksu’dur. Belirsizlikler içeren bu paradoksun günümüze ulaşmasını sağlayan Aristo, buna Stadyum Pa- radoksu adını vermiştir. Olabildiğince kısa ve öz bir şekilde açıklamaya çalışayım.

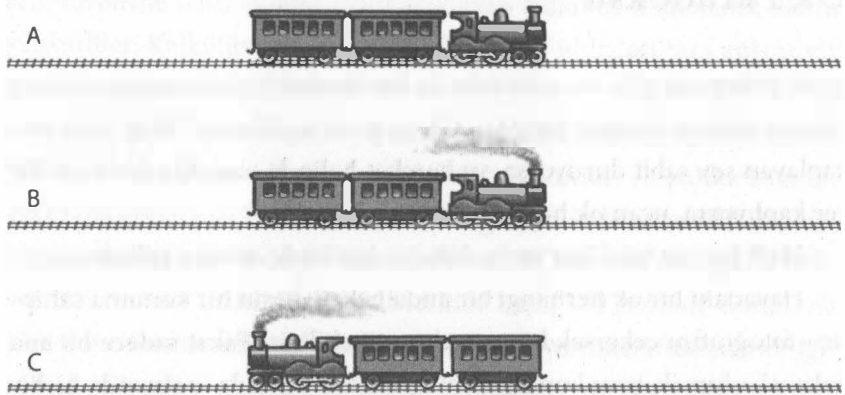
Her birinde bir lokomotif ve iki vagon olan üç tren hayal edin. İlk tren istasyonda sabit duruyor. İkinci ve üçüncü tren, B batıdan, C do- ğudan olmak üzere, B ve C noktalarından birbirlerine zıt yönde ve eşit hızda yaklaşıyorlar.

Belli bir anda trenler şekil 2.2(a)’daki konumdalar. Bir saniye sonra ise şekil 2.2(b)’deki konuma geliyorlar. Zeno’nun mantığına göre B treninin

Şekil 2.2. Stadyum Paradoksu



(a) A treni sabit. B treni soldan sağa, C treni B'yle aynı hızda sağdan sola gidiyor.



(b) Bir saniye sonra, trenlerin hepsi aynı hizada.

hareketinde bir sorun var: bir saniye içinde A treninin bir vagonu kadar yol katederken aynı zamanda C treninin iki vagonu kadar yol kat etti. Zeno, B treninin hem bir vagonluk, hem de iki vagonluk yol kat etmesinin paradoks olduğunu söylüyor. Herhalde bağıl hız kavramından haberdar olacak ki, Zeno paradoksu mesafe değil de zaman üzerinden ortaya koyuyor. Her iki mesafeyi B treninin sabit hızına bölünce biri diğerinin iki katı olan iki farklı süre elde ediyoruz. Fakat paradoksal biçimde her iki süre de birinci şekildeki konumdan ikinci şekildeki konumu elde etmemiz için gereken süreyi gösteriyor!

Yürütülen mantıktaki hata hemen gözümüze çarptığı için bu paradoksu çözmek kolay. Sonuçta bağıl hız denilen bir şey var; B'nin hızının, hareket halindeki C'ye ve sabit olan A'ya göre aynı olduğunu söyleyemeyiz. Kimbilir, belki Zeno da bunun farkındaydı ve hareketin yanıltıcı doğasına dair daha ince bir noktaya parmak basmak istiyordu. Fakat sonuçta okula gitmiş herkesin farkedebileceği üzere, ortada paradoksal bir durum yok. B'nin C'ye göre hızı, A'ya göre olan hızının iki katı; dolayısıyla tabii ki A'nın bir vagonunu geçtiği sürede C'nin iki vagonunu geçecek.

Ok Paradoksu

Tıpkı Dikotomi gibi, bu paradoks da hareketin bir yanılsamadan ibaret olduğu iddiası üzerine kurulu. Aristo şöyle açıklamış: “Hep aynı yeri kaplayan şey sabit duruyorsa, ve hareket halinde olan her an böyle bir yer kaplıyorsa, uçan ok hareket etmiyor demektir.”

Ha?! Şey, en iyisi izin verin daha açıkça ifade etmeye çalışayım.

Havadaki bir ok herhangi bir anda belirli, kesin bir konuma sahiptir –fotoğrafını çekersek bunu açıkça görebiliriz. Fakat sadece bu ana bakacak olursak, aynı konumdaki hareketsiz bir okla aralarında hiçbir fark yoktur. Öyleyse bir okun hareket halinde olduğunu nasıl söyleyebiliriz? Zaman peş peşe gelen anların toplamı olduğundan, ve ok bu anların her birinde hareketsiz durduğundan, asla ilerleyemez.

Gerçekte okun hareket ettiğini biliyoruz elbette, dolayısıyla paradoksal bir durumla karşı karşıyayız. Peki ama Zeno'nun iddiasındaki hata nerede?

Zamanın, peş peşe gelen sonsuz küçüklükte “an”lardan oluştuğu düşünülebilir. Bir fizikçi olarak Zeno'nun iddiasındaki hatayı görebiliyorum. Eğer bu bölünemez anlar fotoğraf karesindeki gibi tam sıfır uzunlukta değilse, okun her anın başındaki ve sonundaki konumu azıcık farklı olacaktır; dolayısıyla kıpırdamadan duruyor diyemeyiz. Öte yandan, eğer bu anlar gerçekten sıfır uzunluktaysa, peş peşe kaç tanesini eklediğimiz farketmez, asla sıfırdan farklı uzunlukla bir zaman aralığı meydana getiremezler: sıfırları birbirine ne kadar eklersek ekleyelim, toplam hep sıfır olur. Bu yüzden Zeno'nun, belirli bir zaman aralığının ardarda sıfır uzunlukta anların toplamından meydana geldiği yönündeki iddiası yanlıştır.

Bu paradoksun tam anlamıyla çözülüp rafa kaldırılabilmesi için fiziğin yanında matematikte de ilerlemeler kaydedilmesi gerekmiştir. Daha ayrıntılı söylemek gerekirse, onyedinci yüzyılda başta Isaac Newton ve Gottfried Leibniz olmak üzere bilimsanları, değişim kavramını matematiksel anlamıyla tanımlayabilmek için çok küçük niceliklerin birbirine nasıl ekleneceğini açıklayan kalkülüs matematik dalını geliştirdiler. Kalkülüs sayesinde Zeno'nun naif iddiaları tam anlamıyla çözülüp rafa kaldırılabilmiştir.

Aslına bakarsanız “neredeyse tam anlamıyla” desek daha doğru olur. 1977’de Teksas Üniversitesi’nden iki fizikçi Zeno'nun ok paradoksunun biraz fazla erken rafa kaldırılmış olabileceğini ima eden şaşırtıcı bir araştırma makalesi yayınladılar. Adları Baidyanaith Misra ve George Sudarshan olan bu iki fizikçinin makalelerinin başlığı “Kuantum Kuramına Göre Zeno'nun Paradoksu”ydü. Dünyanın her yerinden fizikçilerin ilgisini çekti. Bazıları çalışmayı aptalca buldu, bazılarıysa fikri denemek için yarışa girdiler. Yalnız hikâyeye devam etmeden önce, “kuantum mekaniği” denilen garip ve harika fikirler kümesi hakkında kitabın bu erken safhasında elimden geldiğince kıyısından birkaç şey söylememe izin verin.

Zeno'nun Paradoksu ve kuantum mekaniği

Kuantum mekaniği mikroskobik dünyanın işleyişini açıklayan kuramdır. Mikroskobikten kastım mikroskop altında görünecek kadar küçük şeylerden ziyade, o küçük şeylerin yapıtaşları olan çok ama çok daha küçük atomların, moleküllerin ve atomaltı parçacıkların (elektron, proton ve nötronların) dünyası. Şu bir gerçek ki, kuantum mekaniği bilimin en güçlü, en önemli ve en temel matematiksel fikirler bütünüdür. Böylesine olağanüstü olması, birbiriyle çelişiyor gibi görünen iki nedenden kaynaklanır (bu durum bile neredeyse kendi başına bir paradokstur!). Bir yandan, dünyanın işleyişini anlamamızda o kadar temel bir yere sahip ki son yarım yüzyıldaki teknolojik gelişmelerin çoğunu onsuz anlayamıyoruz. Öte yandan, kimse kuantum mekaniğinin ne olduğunu tam bilmiyor.

Öncelikle şunu belirtiyim ki kuantum mekaniğinin matematiksel kuramı kendi başına garip ve mantıksız değildir; tam tersine, doğayı fevkalade iyi açıklayan son derece doğru ve mantıklı bir düşünceler bütünüdür. O olmasaydı modern kimyanın, elektronüğün, malzeme biliminin temellerini anlayamaz, silikon çipi veya lazeri icat edemezdik. Bırakın bu teknoloji çağında kanıksadığımız diğer şeyleri, en başta televizyon ve bilgisayar olmazdı. Ne mikrodalga fırın olurdu, ne CD ne DVD-çalar, ne de cep telefonları.

Kuantum mekaniği maddenin en temel yapıtaşlarının davranışlarını müthiş bir kesinlik ve doğrulukla öngörür ve açıklar. Atomaltı dünyadaki cisimlerin nasıl davrandığı, sayısız parçacığın birbiriyle nasıl etkileşip birleşerek çevremizde gördüğümüz ve bizzat birer parçası olduğumuz dünyayı oluşturdıklarını çok hassas ve neredeyse eksiksiz biçimde anlamamızı sağlamıştır. Unutmamalıyız ki sonuçta bizler de kuantum mekaniğinin yasalarına uyan, son derece karmaşık bir biçimde örgütlenmiş trilyonlarca atomun birlikteliğinden ibaretiz.

Bu garip matematiksel kurallar 1920'lerde keşfedildiğinde, günlük dünyamızda gördüğümüz cisimlerin alışlageldik kurallarından çok

daha farklı oldukları ortaya çıktı. Kitabın sonlarına doğru Schrödinger'in Kedisi'nden bahsederken bu kurallardan bazılarının ne kadar garip olduğunu göreceğiz. Şimdilik kuantum dünyasının garipliklerinden sadece özel bir tanesine bakalım.

Atom kendi haline bırakıldığında, “gözlemlendiği” zamankine göre farklı davranır. Burada gözlemekten kastımız, dürterek, ittirerek, çarpıtarak, herhangi bir şekilde izlemek. Kuantum dünyasının bu özelliği halen tam anlaşılmış değil. Bunun nedenlerinden biri de bu bağlamda neyin “gözlem” sayılıp sayılmayacağını yeni yeni netlik kazanması. “Ölçüm sorunu” denilen bu durumla ilgili bilimsel araştırmalar günümüzde de sürüyor.

Kuantum dünyası şans ve olasılığın egemenliği altındadır. Hiçbir şey görüldüğü gibi değildir bu dünyada. Radyoaktif bir atom yalnız başına bırakıldığında parçacık ışması yapar, fakat bunun ne zaman gerçekleşeceğini bilemeyiz. Elimizden bir tek “yarı-ömür” denilen sayıyı hesaplamak gelir. Yarı-ömür, çok sayıda özdeş atomun yarısının radyoaktif “bozunması” için geçmesi gereken zamandır. Bu sayı ne kadar büyükse, yarı-ömrün süresini o kadar kesin bulabiliriz, ama içlerinden hangisinin ışma yapacak bir sonraki atom olduğunu asla öngöremeyiz. Aslında yazı-tura atmaya benziyor: parayı durmadan atarsak biliyoruz ki yarısında yazı, yarısında tura gelecek. Ne kadar çok atarsak bu istatistiki tahmin o kadar kesin olacak. Ancak bir sonraki atışta yazı mı tura mı geleceğini asla öngöremeyiz.

Kuantum dünyasının özünde olasılığa dayalı olması, kuantum kuramının eksik veya hesapların kaba olmasından kaynaklanmıyor; mesele şu ki rassal (raslantısal) olayın ne zaman gerçekleşeceğini atomun kendisi de “bilmiyor”. Bu durum “belirlenemezlik” veya “öngörülemezlik” adı verilen duruma iyi bir örnek.

Misra ve Sudarshan'ın *Journal of Mathematical Physics* dergisinde yayınlanan makalesi, radyoaktif bir atom yakından ve sürekli gözlemlenirse asla bozunmayacağı gibi akıllara durgunluk veren bir olgudan bahsediyordu. Söylediklerini en güzel “bakılan tencere kaynamaz” ata-

sözüyle özetleyebiliriz. Bu sözü, bilebildiğim kadarıyla, ilk olarak Viktorya dönemi yazarı Elizabeth Gaskell 1848'de *Mary Barton* adlı romanında söylemişse de kökü çok daha eskilere uzanıyor olsa gerek. Tabii tematik kökünün Zeno'nun ok paradoksuna dayandığını söyleyebiliriz: hareket halindeki bir cismin fotoğraf karesindeki gibi tek bir anına bakarak hareketi algılayamayız.

Tamam ama gerçekte niye böyle bir şey olsun ki? Tencereye bakmakla ilgili söz sabırla ilgili basit bir öğüt veriyor alt tarafı: başında beklersen kaynama süresi değişmez, ama sana süre hiç geçmiyormuş gibi gelir. Ne var ki Misra ve Sudarshan'ın kastettikleri şeye göre, bakarsak atomların davranışlarını gerçekten etkileriz. Daha da ilginç, bu etkileşim kaçınılmazdır –bakma eylemi, kaçınılmaz olarak baktığımız şeyin halini değiştirir.

Fikirlerinin dayanağı, kuantum mekaniğinin mikroskobik dünyayı açıklayış biçiminde yatıyor: kendi haline bırakıldığında durmadan son derece garip olayların meydana geldiği, ama bu olaylar olup biterken asla gözlemleyemediğimiz bulanık, hayalimsi bir gerçeklik dünyası (9. bölümde bu konuya tekrar değineceğiz). Örneğin yalnız başına bırakıldığında herhangi bir anda kendiliğinden parçacık ışıması yapacak olan bir atom, dışarıdan bakıldığı zaman her nasılsa sanki utanmışcasına ışıma yapmaz oluyor, dolayısıyla olayı meydana gelirken asla tespit edemiyoruz. Atom adeta bilinçli davranıyor, ki bu çılgınlıktan başka bir şey değil. Gerçi bütün kuantum dünyası bir çılgınlık. 1920'de Kopenhag'da kurduğu araştırma laboratuvarında Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli ve Erwin Schrödinger gibi dönemin büyük bilim dehalarını bir araya getirerek doğanın en küçük yapıtaşlarının sırlarının peşine düşen, kuantum kuramının kurucularından Danimarkalı fizikçi Niels Bohr, bunu şöyle ifade etmiştir: “Vardığı sonuçlardan şok olmadıysanız, kuantum mekaniğini anlamamışsınız demektir.”

Kökenlerinin ok paradoksuna dayanmasından dolayı, Misra ve Sudarshan makalelerine “Kuantum Kuramına Göre Zeno'nun Paradoksu” başlığını uygun görmüşlerdi. Fakat vardıkları sonuç tartışmalı da

olsa, çoğu kuantum fizikçisi için bu durum paradoks olmaktan çıkmıştır. Günümüz literatüründe daha çok “Kuantum Zeno Etkisi” adıyla geçen bu olayın, Misra ve Sudarshan’ın açıkladıklarından çok daha genel bir durum olduğu anlaşılmıştır. Bir kuantum fizikçisine soracak olursanız, bu olayın “dalga fonksiyonunun bozunmamış ilk hale sabit çöküşü” ile açıklanabileceğini söyleyecektir mutlu bir ifadeyle. Tam da böylelerinden beklenecek tipik laf salatası. Nereden mi biliyorum? Ben de onlardan biriyim de ondan. Ancak siz kendinize nereye geldim ben böyle diye sormadan hemen söyleyeyim, burada bu düşünce tarzının peşinden daha fazla ayrıntılarına girerek gitme niyetinde değilim.

Kuantum fizikçileri, atomun, çevresine nasıl tepki verdiğini ortaya çıkardıkça, Kuantum Zeno Etkisi’nin kendini her yerde gösteren doğasını da daha iyi anladılar. 1990’da yapılan ünlü bir deneyde, dünyanın en saygın laboratuvarlarından Colorado Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü’nün* biliminsanları, Kuantum Zeno Etkisi’ni onaylayınca büyük bir adım atılmış oldu. Deney, en hassas zaman ölçümleri konusunda standartları belirlemesiyle ünlü olan ve zekice ismiyle dikkat çeken “Zaman ve Frekans Bölümü”nde gerçekleştirildi. Yakın zaman önce buradaki biliminsanları, her üç buçuk *milyar* yılda –neredeyse Dünya’nın yaşına yakın bir zamanda– bir saniyelik hata payı olan dünyanın en hassas atomik saatini yaptılar.

Wayne Itano, bu müthiş yüksek hassasiyete sahip saatlerin yapımında çalışan fizikçilerden birisi. Kuantum Zeno Etkisi’nin gerçekten tespit edilip edilemeyeceğini sınavan deneyi onun ekibi tasarlamıştı. Bir manyetik alana binlerce atomu hapsedip lazerle dikkatlice bombardıman ederek atomların sırlarını çözmeye çalıştılar. Kuantum Zeno Etkisi’nin kesin kanıtlarını buldular: sabit gözlem altında tutulurlarsa, atomlar biliminsanlarının beklediklerinden çok daha farklı davranıyordu.

Yalnız hikâye burada bitmiyor; günümüzde, “Anti-Zeno Etkisi” denilen, bunun tersi bir etkiye dair kanıtlar da var. Tencereye bakarak daha hızlı kaynamasını sağlamanın kuantumsal karşılığı diyebiliriz buna. Halen tartışmaya açık bir konu olmakla birlikte, bu tür araştır-

* National Institute of Standards and Technology in Colorado

malar 21. yüzyıl biliminin en derin ve belki de en önemli alanlarının göbeğinde yer alıyor. Örneğin kuantum dünyasının garip özelliklerinden faydalanarak çok daha hızlı hesaplamalar yapabilen kuantum bilgisayarların yapımına giden yol, bu tür deneylerden geçiyor.

Elea'lı Zeno paradokslarının bu modern yorumlarına ve neredeyse iki bin beş yüz yıl sonra böylesi etkileyici fizik olgularıyla ilişkilendirilmesine acaba ne derdi? Paradoksun bu yeni halinin mantık oyunları ile işi yok; doğanın atomik boyutta oynadığı ve bizim yeni yeni anlamaya başladığımız çok daha garip özellikleri konu alıyor artık.

Zeno'nun paradoksları bizi fiziğin doğumundan 21. yüzyılın en yeni fikirlerine götürdü. Kitaptaki diğer tüm paradokslar bu iki ucun arasında bir yerlerde meydana çıkmış. Çözmek için Evren'in en uç noktalarına seyahat edip zaman ve uzayın özünü araştırmamız gerekiyor. Sıkı tutunun.

ÜÇ

Olbers Paradoksu

Gece niye karanlık olur?

YILLAR ÖNCE AİLEM ve bir grup arkadaşımla Fransa'da tatil ediydik. Ülkenin en düşük nüfus yoğunluğuna sahip yerlerinden Massif Central'ın Limousin bölgesinde huzur dolu bir çiftlik evinde kalıyorduk. Akşamın geç bir saatiydi; çocuklar uyumuş, bizse dışarıda oturmuş bir yandan bölgenin kırmızı şarabından son kadehlerimizi içerken, bir yandan Fransa'nın ne kadar büyük olduğundan konuşuyorduk: Hâlâ böyle düşük yerleşimli, ışık kirliliğinin bu denli az olduğu kırsal bölgeleri vardı. İngiltere'nin yoğun nüfuslu güneydoğu bölgesinden geldiğimizden olsa gerek, başımızın üstünde bu kadar çok yıldız görmeye alışık değildik. İçlerinden en etkileyicisi, gökyüzü boyunca yayılmış, ince, ipliksi bir buluta benzeyen silik, bulanık bir ışık iziydi.

Fakat bulut olsaydı uzaktaki yıldızlarının görüntüsünü kapaması gerekirdi; halbuki bu ipliksi izin önünde gökyüzünün diğer yerlerindeki kadar çok yıldız olduğunu açıkça görebiliyorduk. Bu şey sanki yıldızların *arkasındaydı*. Grubun nöbetçi bilim adamı olarak hevesle açıkladım: gördüğümüz şey Samanyolu galaksisinin merkez diskiydi; ayrıca bu ışık demeti, gördüğümüz tek tek bütün yıldızlardan muazzam uzaktı. Arkadaşların çoğu,

bunu daha önce hiç görmediklerini söyleyince hayrete düştüm. İçindeki milyarlarca yıldızın galaksimizdeki toplam maddenin ana yığınına oluşturduğunu, ayrıca çok uzak ve çok soluk olduklarından diğer yıldızlar gibi noktalar halinde teker teker görülmediklerini söyleyince ağızları açık kaldı.

Gece gözyüzünde gördüğümüz her noktasal ışık yıldız değildir elbette. En parlak cisimler (haliyle Ay'ı saymazsak), komşu gezegenlerimiz Venüs, Jüpiter ve Mars'tır. Bunların parlamalarının nedeni, gece olunca Dünya'nın öteki tarafında kalan Güneş'in ışığını yansıtmalarıdır. Güneş sistemimizin dışındaki en yakın yıldız bize birkaç ışık yılı uzaktadır. Işık yılının zaman değil, mesafe birimi olduğunu aklınızdan çıkarmayın. Bir ışık yılı, ışığın bir yılda gittiği mesafedir ve yaklaşık 10 trilyon kilometre eder. Bunu kavramayı kolaylaştırmak açısından şöyle bir örnek vereyim: Güneş'le aramızdaki 150 milyon kilometre, topu topu 0,000016 ışık yılı eder. Aslına bakarsanız bu mesafeyi 8,3 ışık dakikası olarak ifade etmek daha anlamlı, çünkü Güneş'ten çıkan ışığın Dünya'ya gelmesi 8 dakikadan birazcık daha uzun sürer.

Güneş'ten sonra bize en yakın yıldız olan Proxima Centauri (Proksima Erboğa), yaklaşık dört ışık yılı uzaklıktadır. Fakat gökyüzündeki en parlak yıldız o değil, bu ünvan onun iki katı uzaktaki Sirius'a (Akyıldız) ait. Sadece Ay, Jüpiter ve Venüs ondan hep daha parlaktır. Gezegenin neresinde olursanız olun onu görebilirsiniz, tabii eğer kuzey kutup dairesinin birkaç yüz kilometre kuzeyinde yaşamıyorsanız. Kuzey yarımküreden görüldüğü şekliyle, Betelgeuse (İkizlerevi) ve Procyon (Öncü) yıldızıyla birlikte Kış Üçgeni'nin üç köşesinden birini oluşturur. Bulmak için, Orion (Avcı) Takımyıldızının kuşağını oluşturan üç yıldız tespit edip aşağıya doğru takip edin. Kaçırmanız zor.

Diğer parlak yıldızlar arasında çok uzak ama devasa Rigel (Ayak) Yıldızını sayabiliriz. Güneş'ten 78 kat daha büyük ve 85.000 kat daha parlak olan bu mavi süperdev, galaksinin bize yakın bölgesinin en parlak yıldızlarından biridir. Çok uzakta olduğu için (700 ila 900 ışık yılı arası), Sirius gibi parlak gözükmez bize. Yaklaşık aynı uzaklıkta ama daha da büyük, biraz daha az parlak kırmızı bir süperdev vardır: Betelgeuse. Bu müthiş yıldız, Güneş'ten 13.000 kat parlak, bin kat daha büyüktür –bu o kadar inanılmaz bir bü-

yüklüktür ki, eğer bizim güneş sistemimizin merkezinde olsaydı, Merkür, Venüs, Dünya, Mars ve Jüpiter'in yörüngelerini yutmuş olurdu!

Teleskop sayesinde gökyüzünü çıplak göze oranla çok daha ayrıntılı görmek mümkün olunca, gökbilimciler yıldızların bütün Evren'de dengeli dağılmadıklarını, aksine muazzam yıldız şehirlerini andıran galaksilere yığılmış olduklarını, ayrıca yine galaksilerin arasında akıl almaz uzay boşlukları olduğunu fark ettiler. Gökyüzünde görebildiğimiz tüm yıldızlar (Sirius, Rigel ve Betelgeuse de dahil olmak üzere) bizim galaksimiz olan Samanyolu'nun birer parçasıdır. Dahası, hepsi Samanyolu'nun içinde bizim küçücük yerel muhitimizde bulunur.

Kusursuz koşullar altında (Dünya'nın doğru yerinde, yılın doğru zamanında) çıplak gözle binlerce, küçük bir teleskopla yüz binlerce yıldız görebiliriz. Yine de Samanyolu'ndaki yıldızların yanında bu sayıların sözünü bile etmeye değmez, tümünün yüzde biri bile etmezler. Samanyolu'nda 200 ila 400 milyar arasında yıldız vardır –yani dünyada şu an hayatta olan her insan için yaklaşık 50 yıldız.

Gece gökyüzünde Samanyolu diskinin kesintisiz ve silik bir leke gibi gözükmesinin nedeni buydu. Galaksimizin merkesi Dünya'dan yaklaşık 25.000 ışık yılı uzaktadır; galaksinin tamamının çapı ise 100.000 ışık yılıdır. Bu uzaklıklar yıldızların temiz birer nokta olarak görünmesine engel olur; milyarlarcasının toplu ışığını görebiliriz ancak.

Yıldızlar galakside düzgün dağılmamıştır. Gerçi bizim Güneşimiz tek başınadır ama, çoğu yıldızlar çiftler çiftler olur ve birbirlerinin çevresinde dönerler. Bazı genç yıldızların yüzlercesi açık ve gevşek kümeler halinde bulunur. "Küresel küme" adı verilen bazı daha büyük gruplarsa binlerce yıldızdan oluşur.

Diğer galaksilerdeki yıldızları tek tek görmemiz söz konusu değil. Aslına bakarsanız, güçlü teleskoplar kullanmadan galaksilerin kendilerini görmek bile neredeyse imkânsız. En yakınımızdaki komşu galaksiler olan Andromeda ve Macellan Bulutları bile çıplak gözle zar zor, silik birer leke olarak görülür.

Bizimkinden biraz daha büyük olan Andromeda galaksisi, 2 milyon

ışık yılı uzaktadır. Eğer Samanyolu Dünya kadar olsaydı, Andromeda Ay'ın uzaklığında olurdu. Tahminlere göre içinde yaklaşık bir trilyon yıldız vardır. Onu teleskopta soluk ve bulanık bir spiral olarak ilk gördüğüm anki heyecanımı hâlâ hatırlıyorum. Bana en çarpıcı gelen yanı, Andromeda'nın şu anki halini değil, 2 milyon yıl önceki halini görüyor olmamdı. Daha o zamandan, henüz insanoğlu dünyada yokken yola çıkmış olan ışık, uzun yolculuğunu gözüme girerek tamamliyordu. Garip bir şekilde kendimi ayrıcalıklı hissetmişim; tam o anda, ben oradayken o fotonlar retinama çarpıyor, tetikledikleri elektrik sinyalleri beynimdeki nöronlara varıyor, gördüklerimin bilincine varmamı sağlıyordu.

Fizikçiler böyle garip düşüncelere dalma eğiliminde olurlar.

Kümeler oluşturan sadece yıldızlar değildir; galaksiler de kendi aralarında kümeler oluşturur. Bizim galaksimiz, içinde Büyük ve Küçük Macellan Bulutları ve Andromeda da dahil olmak üzere yaklaşık kırk galaksiden oluşan Yerel Grup adlı küme içindedir. Uzayın gitikçe daha derinlerine bakmamızı ve daha hassas gökbilimsel ölçümler yapmamızı sağlayan gelişmiş teleskoplar sayesinde artık biliyoruz ki, galaksi kümelerinin kendileri de "üstküme" adı verilen gruplar halinde toplanmıştır. Öyle ki, bizim Yerel Grubumuz da Yerel Üstgrubun bir parçasıdır. Evrenimizin içindeki cisimler daha böyle ne kadar dışa uzanıyor? Basitçe söylemek gerekirse bilmiyoruz. Fakat bu soru asırlarca gökbilimcilerin peşini bırakmadı ve sıradaki paradoksumuzun doğmasına ön ayak oldu.

Gece gökyüzüne bakarken, şu derin soruyu sorabiliriz:

Gece niye karanlık olur?

Daha basit ne olabilir diyebilirsiniz. Sonuçta Güneş ufukta "kaybolunca" gece olduğunu çocuklar bile bilir. Gökyüzünde Güneş kadar parlak başka bir şey de olmadığına göre, Ay'dan yansıyan cılız ışıkla ve gezegenlerle yıldızlardan yansıyan daha da cılız ışıklarla yetinmek zorunda kalırız.

Fakat aslında bu oldukça ciddi bir soru. Öyle ki, gökbilimciler doğru

yanıtı bulana dek yüzyıllarca üzerinde kafa yormuştur. Günümüzde “Olbers Paradoksu” adıyla bilinir.

Soruyu şöyle soralım. Evren’in büyüklüğünün sonsuz olmadığına inanmak için iyi nedenlerimiz olsa da (ki sonsuz olması da bir olasılık), o kadar büyüktür ki, sonsuz olduğunu varsayabiliriz. Bu durumda, uzayda nereye bakarsak bakalım bir yıldız görmemiz gerekir. Bu durumda gökyüzünün, normalde gündüz görüldüğünden bile daha parlak olması gerekir. Hatta her an o kadar parlak olması gerekir ki, sabah olmasıyla gece olması arasında hiçbir fark olmaması gerekir.

Başka bir örneğe bakalım. Çok geniş bir ormanın ortasında duruyoruz – orman o kadar geniş ki, her yöne doğru adeta sonsuza dek gidiyor. Herhangi bir yöne doğru bir ok atıyoruz. Okun hiç alçalmadan, bir ağacın gövdesine çarpana dek dümdüz uçtuğunu varsayalım. Ok yakındaki ağaçların hepsinin arasından geçse bile, önünde sonunda bir ağaca çarpacak. Orman sonsuz olduğundan, ne kadar uzakta olursa olsun, okun uçuş yönünde bir ağaç mutlaka olacak. Şimdi Evrenimizin de sonsuz olduğunu ve içinde düzgün dağılmış sonsuz yıldız olduğunu düşünelim. Yıldızlardan bize ulaşan ışıkları ormanda attığımız oka benzetebiliriz; tek farkı bunlar zıt yönde gidiyorlar. Gökyüzünde nereye bakarsak bakalım, bakış doğrultumuzda bir yıldız görmemiz gerekir. Yıldız olmayan tek bir boşluk bile kalmaz geriye. O zaman bütün gökyüzünün güneş gibi parlak gözükmesi gerekir, hem de her zaman.

Bu açmaz karşısında iki itirazda bulunabilirsiniz; paradoksu ortaya koyarken ikisine de değindim aslında. Birincisi şunu sorabilirsiniz: çok uzaktaki yıldızlar gözle görünmek için çok silik olmazlar mı? İkincisiyse: yıldızların uzaydaki dağılımının düzgün olmadığını söylememiş miydik? Yıldızlar kümeler halinde, kümelerse galaksiler halinde toplanmamışlar mıydı? Dikkatle incelediğimizde, bu itirazların ikisinin de önemsiz olduğunu anlıyoruz. İlk soruya cevap olarak, evet, uzaktaki yıldızların ışıklarının daha sönük görüldüğü doğru; ne var ki bu yıldızların içinde bulunduğu bölge, daha uzakta olduğu için daha geniş bir hacmi, dolayısıyla daha çok yıldız kapsar. Bu bölümde sonradan açıklayacağım bir parça geometriyle bu iki etkenin birbirini tam olarak götürdüğünü göreceğiz: Gökyüzünün

herhangi bir bölgesinde, daha az sayıda ama daha parlak olan yakındaki yıldızların toplam parlaklığı, daha çok sayıda ama daha silik olan uzaktaki yıldızların toplam parlaklığına eşittir. İkinci itiraza gelirsek, yıldızların düzgün dağılmadığı doğru; yıldızlar bir araya süpürülmüş sonbahar yaprakları gibi yığınlar halinde bulunur. Kendi galaksimizin ötesinde, teleskoplardan bakınca gördüğümüz parlaklıklar birer galaksidir. Dolayısıyla iddia yine aynı, sadece bu sefer tek tek yıldızlara değil de galaksilere bakıyoruz –tek bir yıldızın yüzeyi kadar parlak olmaz belki ama yine de kör edici bir parlaklık oluşması gerekmez mi?

Hayır, gerekmez. Ve göreceğimiz üzere, yanıtın neden hayır olduğu, bugüne dek Evren’le ilgili keşfettiğimiz en derin gerçeklerden biridir. Fakat bu paradoksu doyurucu bir şekilde çözümlemek istiyorsak, önce biraz tarihine değinmemiz gerek.

Sonsuz sayıda yıldız

Gökbilimcilerin bu paradokstan ne zamandan beri haberdar olduğunu göz önünde bulundurursak, adının daha 1950’lerde yeni konmuş olmasına şaşmamak elde değil. Paradoksa adını veren Almanya’nın Bremen şehrinden bir doktor ve amatör bir gökbilimci olan Heinrich Wilhelm Olbers, 19. yüzyılda yaşamıştı. Aslına bakarsanız, ondan önce de bu paradoksla ilgilenen gökbilimciler olmuştu.

1952’de büyük Anglo-Avusturyalı gökbilimci Hermann Bondi, içinde “Olbers Paradoksu” teriminin ilk kez geçtiği köşetaşı bir ders kitabı yayınladı. Fakat göreceğimiz üzere, bu adlandırma gerçeği yansıtmıyordu, çünkü soruyu ilk ortaya koyan kişi Olbers değildi; dahası, getirdiği çözüm özgün veya aydınlatıcı olmaktan uzaktı. Zaten ondan bir asır önce Edmond Halley aynı soruyu dile getirmişti. *Ondan* da bir asır önce Johannes Kepler 1610’da dile getirmişti. Ne var ki o bile ilk değildi; ilk yazılı bahsi için ondan da birkaç on yıl kadar önce, Kopernik’in 1576’da basılan *De revolutionibus* adlı büyük eserinin İngilizce çevirisine bakmamız gerekir.

Gökbilim tarihini anlatan her öykü, başrolde hep aynı bir avuç karakterle başlar. Bunların ilki MS 2. yüzyılda yaşamış Yunan Batlamyus'tur; tarihteki en önemli bilim kitaplarından biri olan *El-Mecisti* adlı eserinde, hatalı bir şekilde Güneş'in Dünya çevresinde döndüğünü iddia etmiştir. Dünya'yı Evren'in merkezine koyan modeli, bin yıldan uzun süre dünyanın her yerindeki gökbilimcilerin ana modeli olmuştur. Bir başkası 16. yüzyılda yaşamış Polonyalı dâhi Kopernik'tir. Batlamyus'un "yermerkezli" modelini çöpe atıp Güneş ve Dünya'nın rollerini değiştiren Kopernik, modern gökbilimin babası kabul edilir. Tabii Galileo'yu da unutmamalıyız; gökyüzüne ilk teleskobu 1609'da o doğrultmuş, Kopernik'in "güneş-merkezli" modelinin doğruluğunu kanıtlamıştır. Dünya ve diğer gezegenler gerçekten de Güneş'in çevresinde dolanmaktadır.

Fakat Kopernik'in de yanlışlığı bir nokta vardı. Dünya'yı Evren'in merkezindeki ayrıcalıklı yerinden etmekte haklıydı haklı olmasına, ama bu sefer de Güneş'i Evren'in merkezine koymuştu. Avrupadaki bilim devriminin başlıca sorumlularından sayılan eseri *De revolutionibus*'ta güneş sisteminin simgesel şeklini çizmişti. Bu çizimde Dünya, Merkür ve Venüs'ün ardından üçüncü gezegendi; çevresinde dönen sadece Ay vardı; Dünya'nın ardından da sırasıyla Mars, Jüpiter ve Satürn geliyordu. Şu ana kadar her şey doğru (Satürn'den daha uzak gezegenler henüz keşfedilmemişti). Fakat bu noktadan sonra Kopernik çok ilginç bir şey yaptı. *Tüm* yıldızları Güneş'in çevresine, dıştaki sabit bir yörüngeye yerleştirdi. Onun sisteminde sadece gezegenler değil, yıldızlar da Güneş'in çevresinde dönüyordu.

Biz Güneş'in böylesi ayrıcalıklı bir konumu olmadığını farkındayız elbette. Güneşimizin aslında Evren'in alelade bir yerindeki sıradan bir sarmal galaksisinin dış kolunda yer aldığını biliyoruz. Günümüzün modern evrenbilim anlayışını doğuran, gittikçe daha kapsamlı ve kesin hale gelen gökbilimsel veriler sayesinde artık biliyoruz ki Evrenimizin merkezi diye bir yer yok, hatta her yöne doğru sonsuza dek gidiyor olması bile mümkün. Fakat teleskobun daha icat edilmediği bir çağda yaşayan zavallı Kopernik elbette bunların hiçbirini bilemezdi.

Bir sonraki büyük adımı atacak olan kişi, Oxford yakınlarındaki sakin

alışveriş kasabası Wallingford'da oturan pek bir kimsenin adını duymadığı bir gökbilimciydi. Thomas Digges adındaki bu adam Kopernik öldükten birkaç yıl sonra, 1546'da doğdu. Kendisi de bilimsani olan babası Leonard Digges, dikey ve yatay açıları büyük bir kesinlikle ölçmeye yarayan, günümüzde daha çok harita mühendisleri tarafından kullanılan "teodolit" adlı aletin mucidi kabul edilir. Thomas, 1576'da babasının son derece popüler olan gökbilim almanağı *A Prognostication Everlasting*'in* yeni sayısını, sonuna ekler halinde kendinden yeni bölümler ekleyerek yayınladı. Bu eklerden en önemlisi, şüphesiz Kopernik'in büyük eserinin İngilizce çevirisiydi. Kopernik kuramını daha kitabın kendisi dikkate almazken sonuna böyle bir şeyin eklenmiş olması oldukça etkileyici. Thomas Digges'in Evrenle ilgili o dönemde hâlâ tartışmalı olan bir görüşü tanıtip yayması başlıbaşına çok önemli bir işti; ne var ki o bundan çok daha fazlasını yapacaktı. Her ne kadar yaptığı şey Kopernik'in gökbilime katkıları gibi övülme de, bana sorarsanız gökbilimin gelişimi açısından onun kadar önemliydi.

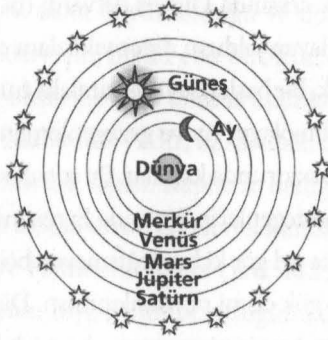
Digges, en dış küresel katmanda yıldızların, ortada Güneş'in olduğu Kopernik sistemini aldı ve yıldızları yörüngelerinden kurtararak çevredeki sınırsız boşluğa dağıttı. Böylece içinde sonsuz sayıda yıldızın olduğu sonsuz bir evren görüşünü ciddi anlamda ilk ortaya atan kişi oldu (gerçi Yunan filozof Demokritos'un bu görüşe üstü kapalı değindiğini de eklemek gerek).

Digges'in yaptığı kuru bir tahminden ibaret değildi. 1572'de meydana gelen bir olayın ardından bu yeni evren görüşüne ikna olmuştu. O yıl gökyüzünde beliren yeni bir parlak yıldız, dünyanın dört bir yanından pek çok gökbilimci gibi onun da aklını başından almıştı. Günümüzde bu nadir olaya süpernova diyoruz: bütün nükleer yakıtını tüketip ömrünün sonuna gelmiş bir yıldızın, dramatik bir şekilde kendi ağırlığı altında çökerek patlaması. Bu işlem, yıldızın içinde şok dalgaları göndererek, son kez korkunç bir enerji yaymasına ve dış katmanlarının uzaya fırlamasına neden olur. Bu son patlamada yayılan öyle büyük bir enerjidir ki, yıldız bir süreliğine galaksinin toplamından daha parlak hale gelir. Fakat 16. yüzyılda bu tür gökfiziksel ayrıntılar henüz bilinmiyordu. Aslına bakarsanız, Evren'in yapısının Ay'ın ötesinde sabit ve değişmez olduğuna inanılıyordu. Gökyüzündeki bir cismin bir

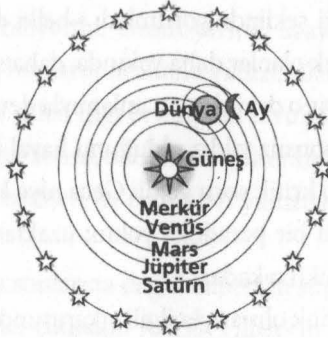
* Ebedi Kehanet

Şekil 3.1. Evren'in üç modeli

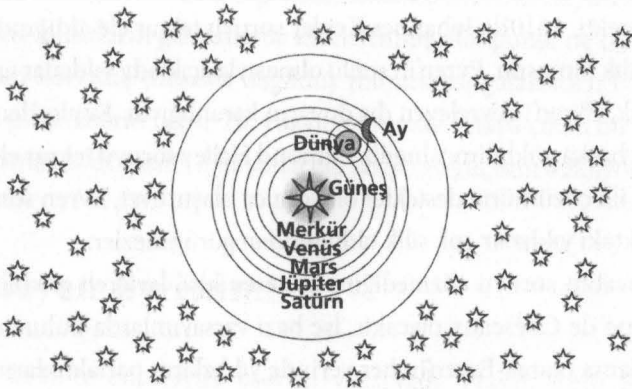
Sabit yıldızlar



Batlamyus'a
göre Evren



Kopernik'e
göre Evren



Thomas Digges'e göre Evren

süreliliğine şiddetle parlayıp ardından tekrar sönükleşmesi için Dünya'ya çok yakın, Ay'ın yörüngesini geçmeyen bir uzaklıkta olması gerekirdi.

1572'deki süpernova patlamasının çok uzaklarda olması gerektiğini hesaplayan gökbilimciler arasında Digges de vardı (büyük Tycho Brahe de bunlar arasındaydı). Parlayan yıldızın diğer yıldızlara oranla günlük yer değiştirmesinde bir farklılık, bir başka deyişle paralaks (uzaklık açısı) görülmediğinden, gökbilimciler bu olayın Ay ve gezegenlerden daha uzakta gerçekleştiği sonucunu çıkarmak zorunda kaldılar. Bu son derece kafa karıştırıcı bir durumdu, çünkü Ay ve gezegenlerin ötesinde Evren'in sabit ve değişmez olduğuna inanılıyordu; ama gel gör ki bu değişmeyen bölgede birden nereden geldiği belli olmayan bir gök cismi peydahlanmıştı. Digges, "yeni bir yıldız" olduğuna kanaat getirilen bu cismin ortaya çıkışını, her yıldızın aynı uzaklıkta olması gerekmediği şeklinde yorumladı –belki de (bugün bize bariz geldiği üzere) daha parlak olanlar daha yakında, daha silik gözükener daha uzaktaydı. Böylesi bir fikir o devirde tam anlamıyla devrim niteliğindeydi.

Sonsuz bir uzayda sonsuz yıldız olduğunu hayal edince Digges'in aklına kaçınılmaz olarak o kritik soru geldi: Gece niye karanlık olur? Ancak Digges açısından ortada bir paradoks yoktu; uzaktaki yıldızların ışıkları görünmeyecek kadar silikti o kadar.

Digges'in gece karanlık olmasıyla ilgili çıkarımındaki hatasını görmesi için eksik olan şey, can alıcı bir matematiksel hesaptı. Ancak bu daha sonra fark edilecekti. 1610'da Johannes Kepler soruyu tekrar ele aldığı anda, gecenin karanlık olmasını, Evren'in sonlu olmasıyla açıkladı: yıldızlar arasındaki karanlık, Evren'i çevreleyen dış duvarın karanlığıydı. Kepler'den yüz yıl sonra, bir başka gökbilimci İngiliz Edmond Halley soruyu tekrar ele aldı ve Digges'in ilk çözümünü destekler bir sonuca ulaştı: evet, Evren sonsuzdur, fakat uzaktaki yıldızlar çok silik olduğundan görünmezler.

Bu cevabın soruyu çözmediğini gösteren kişi, İsviçreli gökbilimci Jean-Philippe de Chéseaux olacaktı. İşe bazı varsayımlarda bulunarak başladı: ortalama olarak Evren'in her yerinde yıldızların parlaklıklarının aynı olduğunu* varsaydı (ki biz bunun doğru olmadığını biliyoruz, ama zaten ispatın doğruluğunu etkilemiyor). Evren'deki tüm yıldızların, tıpkı bir so-

* Elbette belli bir mesafeden sonra, Samanyolumuzun dışına çıkınca, artık yıldızlar üzerinden değil galaksiler üzerinden düşünmemiz gerekir.

ğanın katmanları gibi, eşmerkezli katmanlar halinde çevremizde gruplanarak sonsuza dek uzandığını hayal etti. Ardından geometrik hesaplamalar sayesinde şunu ispatladı: İç katmandaki yıldızlar daha parlak olsa da, dış katmanların hacmi daha büyük olduğu ve dolayısıyla içlerinde daha çok yıldız barındırdıkları için, bu iki etki birbirini dengeler ve her katmanın toplam parlaklığı birbirine tamı tamına eşit olur. Bir başka deyişle, çok sayıdaki daha uzak ve daha silik yıldız, az sayıdaki daha yakın ve daha parlak yıldızla eşit miktarda ışık sağlar. Kepler'in dediğine geri döndük: Evren sonsuz olamaz çünkü aksi taktirde geceleri karanlık olmazdı.

Ardından sahneye Heinrich Olbers çıktı. 1823'te yayınladığı bir makalede gece gökyüzünün niye karanlık olduğunu daha farklı açıkladı. De Chéseaux sağolsun, Olbers uzaktaki yıldızların silik görünmesinin soruya yanıt olamayacağını biliyordu. Onun yerine, uzayın yıldızlararası toz ve gazla dolu olduğunu, bunların uzaktaki yıldızlardan (veya şimdiki anlayışımızla galaksilerden) gelen ışığı örttüğünü savundu. Ancak bilmediği bir şey vardı: Yeterli zaman sonra, o tozlar ve gazlar bile emdikleri ışık yüzünden ısınıp sonunda kendileri de örttükleri yıldızlar (ya da galaksiler) gibi parlamaya başlarlar.

Zaten 19. yüzyılın sonlarına değin Olbers'in sunduğu çözümü dikkate alan pek bir gökbilimci çıkmadı. Ancak Olbers'in hatasını doğal karşılamak gerek; sonuçta o zamanlar gökbilimciler ne Evren'in boyutlarını biliyorlardı, ne yıldızların galaksilerde kümelenmiş olduğunu, ne de Samanyolumuzun korkunç uzaklığa dağılmış milyarlarca galaksiden biri olduğunu. Bu gelişmelerin hepsi, 20. yüzyılın başında ortaya çıkan bir adamın uzay ve zamanın doğasına dair sunacağı yeni bakış açısını bekliyordu.

Genişleyen Evrenimiz

Einstein 1915'te en büyük eserini yayınladı. Hayır, ünlü formülü $E=mc^2$ değil; Nobel Ödülü kazandığı ışığın doğasıyla ilgili çalışması da değil. Genel Görelilik Kuramı'ndan bahsediyoruz; kütleçekim ya-

sasının uzay ve zamanı nasıl etkilediğini açıkladığı çalışması. Okullarda Isaac Newton'un bulduğu kütleçekim yasasını öğreniriz: görünmeyen bir kuvvet tüm cisimleri birbirine doğru çeker. Bu yanlış değil elbette; bütün yaşamımızı bizi yüzeyine doğru çeken gezegenimizin kütleçekiminin etkisinde geçiririz. Newton'un yerçekim yasası Ay'ın Dünya'nın çevresinde nasıl döndüğünü, gelgitlerin Ay'ın çekimiyle nasıl oluştuğunu, Dünya'nın Güneş'in çevresinde nasıl döndüğünü açıklar; Kopernik'in güneş-merkezli modelini de böylece haklı çıkarır. Hatta Apollo projesiyle Ay'a insan gönderirken NASA'daki biliminsanları Newton'un kütleçekim öngörülerini kullanmışlardır. Bu evrensel yasanın işlerliğiyle ilgili bir şüphemiz yok. Ne var ki vardığı sonuçlar tam kesin değil.

Einstein'ın Genel Görelilik Kuramı, kütleçekimini kökten farklı bir şekilde açıklar ve çok daha hassas hesaplamalara izin verir. Kütleçekimi aslında bizim anladığımız anlamda –sanki görünmeyen bir lastik tüm cisimleri birbirine doğru çekiymüşçasına– bir kuvvet değildir. Kütleçekimi, tüm kütlelerin çevrelerindeki kendilerini sarmalayan boşluğun şeklinin bir ölçüsüdür. Farkındayım, eğer fizik okumadıysanız bu sözler size anlamsız gelecektir. Endişelenmeyin; derler ki Einstein kuramını ilk kez yayınladığında dünyada kendisi dışında sadece iki biliminsanı anlamıştı. Günümüzde o kadar sıkı bir şekilde test edilmiş ve didiklenmiştir ki artık doğruluğundan pek şüphe duymuyoruz.

Çok geçmeden Einstein ve diğerlerinin aklına şöyle bir fikir geldi: Evrenimiz boşluktan ve o boşluğun içindeki şeylerden ibaret olduğuna göre, ve her şey kütleçekimine tabi olduğuna göre, Evren'in özelliklerini açıklamak için Genel Görelilik Kuramı'nı kullanabiliriz. Fakat bir süre sonra Einstein ciddi bir sorunla karşılaştı. Eğer herhangi bir anda Evren'deki tüm galaksiler birbirine göre sabit konumdaysa, Evren'in sonlu olduğunu kabul edersek, o zaman karşılıklı uyguladıkları kütleçekim kuvveti birbirlerine doğru yaklaşımlarına neden olur ve Evren er ya da geç çöker. O zamanki genel görüş, Evren'in galaksiler ve daha büyük boyutlarda durağan ve değişmez olduğu yönündeydi

–en büyük boyutlarda dahi evrilen, dinamik ve değişen bir evren son derece yabancı ve gereksiz bir düşünceydi. Bu yüzden genel görelilik denklemleri Evren’in büzülüyor olması gerektiğini ima edince, Einstein köklü bir düşünce değişikliğine gitmektense denklemlere yama yapmaya karar verdi. Kütleçekimin içe doğru çekişini dengelemek için, buna karşı koyan bir “kütleitim kuvveti” olması gerektiğini iddia etti. “Kozmik itim kuvveti” adıyla bilinen bu kuvvet, kütleçekim kuvvetini dengeleyecek ve galaksilerin birbirine yaklaşmasını önleyerek Evren’i sabit tutacaktı. Einstein’ın yaptığı şey, genel olarak kabul gören sabit evren modeliyle Genel Görelilik Kuramı’nı bir matematik numarasıyla birbirine uyumlu hale getirmektir.

Fakat beklenmedik bir gelişme oldu. 1922’de Aleksandr Friedmann adındaki Rus bir evrenbilimci, çok daha farklı bir sonuca vardı. Ya Einstein yanılıyorsa ve Evren’i dengeli ve sabit tutacak bir anti-kütleçekim kuvveti yoksa? Bu durumda Evren’in kütleçekimin etkisiyle illa kendi içine doğru çökmesi gerekmez; belki de Evren tam tersini yapıyor ve genişliyordur. Peki ama bu nasıl olabilir? Kozmik bir itim kuvveti yoksa genişlemesi değil, büzülmesi gerekmez mi? Açıklayalım.

Evren’i en başta bir şeyin –bir ilk patlamanın– genişletmeye başladığını hayal edelim. O zaman Evren’deki tüm cisimlerin kütleçekimin etkisiyle birbirlerini çekmeleri, bu genişlemeyi yavaşlatmaya çalışır. Eğer kütleçekimin etkisini dengeleyecek kozmik bir itim kuvveti yoksa, Evren en başta genişliyor olduğuna göre, içinde bulunduğumuz anda da ya büzülüyor ya da genişliyor olmalı. Yalnızca sabit olamaz.

Bu durumu şöyle bir örnekle açıklayabiliriz. Eğik bir düzlemdeki topu düşünün. Eğer ortasında bir yere koyarsanız hep aşağıya yuvarlanır. Fakat şöyle bir şey yapalım; topun eğimde yuvarlandığı bir filmi ortasında dondurarak birine soralım: Film oynatmaya devam ettiğimizde top aşağı mı yoksa yukarı mı yuvarlanacak? Sorduğumuz kişi biraz düşünürse iki cevabın da mümkün olduğunu fark edecektir. Top yukarı doğru da yuvarlanıyor olabilir (genişleyen bir evren gibi), aşağı doğru da (büzülen bir evren gibi), bir tek sabit duruyor olamaz.

Haliyle topun yukarı doğru gidiyor olması için bir ilk hızla fırlatılmış olması gerekir. Bu durumda önce yukarı doğru çıkarken yavaşlar, sonra bir anlığına durup aşağı doğru yuvarlanmaya başlar.

Hiç kimse, hatta Einstein bile Friedmann'ın kuramına inanmaya hazır değildi –ta ki deneysel kanıt bulunana dek. Aradan daha birkaç yıl geçmişti ki kanıt bulunuverdi. Samanyolu'nun dışında başka galaksilerin varlığını ilk kanıtlayan kişi gökbilimci Edwin Hubble oldu. O zamana değin teleskoplardan görünen ufak ışık lekelerinin, kendi galaksimiz içindeki, “bulutsu (nebula)” adı verilen toz bulutları olduğuna inanılırdı. Hubble, güçlü teleskobu yardımıyla bu lekelerin Samanyolu'nun içinde olamayacak kadar uzakta olduğunu ve başlı başlarına birer galaksi olmaları gerektiğini bulguladı. Daha da ilginç, tüm galaksiler Dünya'ya olan uzaklıklarıyla doğru orantılı bir hızla bizden uzaklaşıyordu. Teleskobunu gökyüzünün neresine doğrultursa doğrultsun aynı olayı gözlemledi. Friedmann'ın genişleyen evren fikrinin doğru olduğunu kanıtlamıştı.

Hubble doğru bir mantıkla, Evren şu anda genişliyor olduğuna göre eskiden daha küçük olması gerektiğini iddia etti. Dolayısıyla eskiden bir zamanlar Evren'deki tüm galaksilerin iç içe, Evren'inse sıkış tepiş olduğu bir dönem olmalıydı. Daha da geçmişe gidersek tüm bu galaksilerin sıkışarak tek bir noktada birleştiği bir an olmalıydı: Büyük Patlama adını verdiğimiz, Evren'in doğumuna yol açan o devasa patlama anı (Bu olaya Büyük Patlama adını 1950'lerde gökfizikçisi Fred Hoyle takmıştır).

Burada genel bir yanlış anlamaya dikkat çekmekte fayda var: Evren'deki her galaksinin bizimkinden uzaklaştığı doğru değil. İşin doğrusu, galaksilerin arasındaki boşluktur asıl genişleyen. Hatta yeri gelmişken ilginç bir noktaya daha değinelim: Komşu galaksimiz Andromeda bize doğru yaklaşıyor! Evren'in genişleme hızıyla ilgili güncel tahminlere göre, saniyede 50 kilometrelik bir hızla bizden uzaklaşması gerekirdi. Halbuki saniyede 300 kilometrelik hızla bize doğru yaklaşıyor. Bunun nedeni, yıldızların galakside düzgün dağılmadıkları gibi, galaksilerin de Evren'de düzgün dağılmamış olmaları. Hubble bizim yerel kümemizdeki

hareketleri değil, çok uzaktaki galaksileri gözlemlemiştii.

Galaksimizin ve Andromeda'nın birbirine yaklaştıkları hız, Dünya'nın çevresini iki dakikada dolaşmaya, veya Dünya'yla Güneş arasını bir haftadan kısa sürede kat etmeye denktir. Dahası, Andromeda ve Samanyolu günün birinde çarpışacaklar, neyse ki buna daha milyarlarca yıl var.

Evren'in genişlemesiyle ilgili son olarak şunu söyleyelim: Öyle anlaşıyor ki, Evren'in genişleme hızı gittikçe artıyor. Görünüşe bakılırsa kütleçekiminin etkisiyle genişleme yavaşlayacağı yerde, daha da kuvvetli bir şey galaksileri birbirinden uzağa ittiği için genişleme hızlanıyor. Daha iyi bir isim bulamadığımız için, bu gizemli anti-kütleçekim kuvvetine "karanlık enerji" diyoruz. Meğer Einstein'ın evrensel itim kuvveti fikri o kadar da uçuk değilmiş –tek farkı, bu yeni haliyle Evren'i durağan tutmaktansa genişlemesini sağlıyor.

Günümüzde evrenbilimciler, Evren'in Büyük Patlama'dan beri yaklaşık 14 milyar yıldır genişlediğine inanmakla birlikte, ilk 7 milyar yıl boyunca kütleçekiminin etkisiyle bu genişlemenin yavaşladığına, ikinci 7 milyar yıldaysa Evren'deki maddeler (galaksiler) birbirinden çok uzaklaştığı için kütleçekiminin belirleyici etkisini kaybettiğine inanıyorlar. O noktadan itibaren karanlık enerji belirleyici olmaya başladı ve uzayı gittikçe daha büyük bir hızla dışa doğru çekmeye başladı. 1998'de genişlemenin ivmelendiğini keşfedene kadar Evren'in kendi içine geri çökmesi senaryosunun, yani genel adıyla "Büyük Çöküş"ün* mümkün olduğunu düşünüyorduk. Fakat bugünkü anlayışımıza göre Evren'in sonu "ısı ölümü"yle gerçekleşecek –her şey birbirinden sonsuza dek uzaklaşacak. Sanırım bu biraz iç karartıcı bir düşünce, gerçi nasıl olsa o zaman burada olmayacağız.

Büyük Patlama'nın kanıtları

Evren'in genişlediğini bilmek, aslında Olbers Paradoksu'nu çözmemiz için yeterli –ama gelin önemli bir adım daha atalım ve Evren'in,

* İng: Big Crunch

Büyük Patlama gerçekleşmiş olmak zorunda olduğu için genişlediğini ispatlayalım. Uzayın genişliyor olması, Büyük Patlama'nın yadsınamaz kanıtını teşkil eder, ancak bunun dışında, günümüzde can alıcı önemde iki kanıtla daha desteklenmektedir. Bunların birincisi, "elementlerin bollukları" denilen, Evren'deki farklı kimyasal elementlerin bağıl oranlarıdır. Varolan atomların çoğu en hafif iki element olan hidrojen ve helyumdur; diğerlerinin hepsi (oksijen, demir, nitrojen, karbon, vs) geri kalan azıcık maddeyi oluşturur. Bunun en doyurucu açıklaması, Evren'in ilk başta sıcak ve yoğun olduğu, sonradan hızla soğuyup genişlediğidir.

Büyük Patlama sırasında, yani yıldızların ve galaksilerin oluşmasından çok önce, Evren'deki tüm madde bir araya sıkışmıştı ve boşluk yoktu. Büyük Patlama'nın neredeyse hemen ardından (bir saniyeden çok daha az bir süre sonra), atomaltı parçacıklar oluşmaya başladı. Evren genişleyip soğuyunca bu parçacıklar bir araya gelebildiler ve atomları oluşturdular. Bu atomların oluşabilmesi için sıcaklık ve basınç koşullarının tam doğru değerlerde olmaları gerekiyordu. Sıcaklık fazla yüksek olsaydı atomlar bir bütün halinde duramaz, yüksek-hızlı parçacık ve radyasyonun hengameli girdabında paramparça olurlardı. Öte yandan, Evren biraz daha genişleyince, hidrojen ve helyum atomlarının bir araya sıkışarak daha ağır elementleri oluşturması için basınç ve sıcaklık fazla düşük kaldı. Erken Evren'de temelde hidrojen ve helyum oluşmasının nedeni budur. Neredeyse diğer tüm elementler, yıldızların içindeki muazzam yükseklikteki basınç ve sıcaklık ortamında, hafif atomların bir araya sıkıştırılarak daha ağır atomların oluşumunu mümkün kılan termonükleer füzyon süreciyle pişirilmeyi beklemek zorundaydılar.

İşte Büyük Patlama kuramı, günümüzde gökbilimcilerin gözlemledikleri hidrojen ve helyumun oranlarını doğru öngörebilen tek seçenektir.

Büyük Patlama'yı destekleyen diğer kanıt, tıpkı Evren'in genişlemesinde olduğu gibi, deneysel olarak onaylanmadan önce kuramsal olarak öngörülmüş olmasıdır. Bugün artık biliyoruz ki, uzayda dolaşan ışığın

çoğu yıldızlardan gelmiyor; Evren, daha yıldızlar ve galaksiler oluşmadan önceki zamanlardan kalma kadim ışık içinde yüzmekte. Büyük Patlama'dan bir milyon yıldan daha kısa bir zaman sonra ilk atomlar oluşmaya başladı. O anda uzay ışığa saydamlaştı ve ışınımın çok uzun mesafeleri kat etmesi mümkün oldu. İlk evrensel şafağın aydınlığı olan bu ışık, içinde hareket ettiği uzay genişledikçe gerildi. Yapılan hesaplara göre bu ışığın dalgaboyu artık o kadar büyüktür ki gözle görülebilen tayfın dışına çıkmıştır. Hatta mikrodalga bölgesinde olması gerekir. Zaten adına bu yüzden “kozmetik mikrodalga ısıması” diyoruz.

Bütün Evren'e yayılmış durumda olan bu ısıma, uzay boşluğundan gelen hafif bir sinyal olarak radyo teleskoplarıyla tespit edilebilir. Bu çalışma ilkin 1960'larda yapılmış, zaman içinde gittikçe artan hassaslıklarda pek çok kez tekrarlanmıştır. İnanılmaz gelse de, bu zayıf dalgaların hissettirisini radyo ve televizyonlarımızı açtığımızda duyabiliriz.

Dolayısıyla Evrenimizin bir başlangıcı olduğuna artık şüphemiz kalmadı. Elimizde üç sağlam kanıt var: Büyük Patlama'nın kalıntısı olan arka plan radyasyonu, ki tam da olması gereken dalgaboyunda; farklı elementlerin bağıl oranları; ve teleskoplarla net olarak gözlemleyebildiğimiz uzayın genişlemesi. Her üçü de bir başlangıç anına işaret ediyor.

Evet, Olbers'in paradoksunu huzura kavuşturmaya hazırız sonunda.

Nihai çözüm

Özetleyecek olursak: Gece karanlık olmasının nedeni Evren'in sonlu olması değildir; zaten Evren'in sonlu olduğu da şüpheli. Uzak yıldızların çok silik görünmesi de bunun nedeni olamaz; ne kadar uzağa bakarsak yıldızla dolu o kadar çok galaksi olmalıdır. Bu galaksilerin ışıkları bir araya gelince gökyüzünde karanlık boşluk bırakmazlardı. Uzayın derinliklerinden gelen ışığın gaz ve tozlar tarafından emilerek engellenmesi de değildir neden; öyle olsaydı araya giren madde

engellediği ışığın enerjisini eme eme bir süre sonra kendi de ışıma-ya başladır. Hayır, uzayın karanlık olmasının gerçek nedeni bunların hepsinden daha basit ve daha derin. Gece karanlık olur çünkü Evren'in bir başlangıcı vardır.

Işık, saatte 1 milyar kilometre gibi akıl almaz bir hızla hareket eder. Bu, Dünya'nın çevresinde saniyede yedi tur atmaya denk gelir. Işık hızı, Evrenimizin hız sınırıdır. Hiçbir şey ışıktan daha hızlı gidemez. Işık hızının bu ayrıcalıklı konumu, ışığın kendinden ziyade, hız dediğimiz şeyin uzay-zaman dokusunun ayrılmaz bir parçası olmasından kaynaklanır. Işığın ağırlığı yoktur, kozmik hız sınırında hareket edebilmesinin nedeni budur. Einstein 1905'te, görelilik kuramlarının ilki olan Özel Görelilik'te bunu zarif bir şekilde göstermişti (ilerleyen bölümlerde Özel Görelilik'e değineceğiz) –ve evet, illa bilmeniz gerekiyorsa, $E=mc^2$ bağıntısına yol açan kuram da bu kuramdır.

Yine de kozmik boyutlara göre düşündüğümüzde ışık hızı etki-leyiciliğini yitiriyor. Çünkü bırakın galaksiler arasındaki uzaklıkları, bizimle kendi galaksimizin yıldızları arasındaki uzaklıklar bile o kadar muazzam ki, en yakın komşularımızın bile ışıklarının bize varması yıllar sürüyor.

Olbers Paradoksu'nun çözümünün ipucu, ışık hızının sonlu olmasında gizli. Evren'in yaşı yaklaşık 14 milyar yıl olduğu için, biz sadece ışıkları 14 milyar yılda bize gelebilecek yakınlıktaki galaksileri gör-biliyoruz. Uzayın genişliyor olması işi biraz daha karıştırıyor tabii. 10 milyar ışık yılı uzaktaki galaksi dediğimizde ışığı bize doğru 10 milyar yıldır yol alan bir galaksiyi kastediyoruz. Fakat bu sürede galaksiyle aramızdaki boşluk da gerildiği için aradaki mesafe aslında birkaç kat daha fazla. Zaten çok değil, mesafe iki katına bile çıkmış olsa görüş alanımızın dışında kalır, çünkü ışığı daha bize varmamış olur. Dolayısıyla gecenin ışığına bir katkısı olmaz. Uzayı, yalnızca Evren'in yaşı izin verdiği ölçüde bilebiliriz.

Bundan dolayı gökyüzünde görebileceklerimiz, bütün Evren'in sadece ufak bir bölümüdür. "Görünür Evren" dediğimiz bu bölgenin

dışındaki şeyleri, bu ufkun ötesini, hiçbir teleskop bize gösteremez. Çünkü bu ufuk aynı zamanda *zamanın* ufkudur. Ne kadar uzağa bakersak, o kadar geçmişe bakıyoruz demektir, çünkü gözümüze gelen ışık kaynağından çıkmalı milyarlarca yıl oldu. O yüzden ışığın çıktığı kaynağın şimdiki halini değil, geçmiş halini görürüz. Bundan dolayı, görünür Evren'in en uç noktası, zamanın bizim için en erken anıdır. Şu ince noktayı da iyi anlamalıyız: Evren hiç genişlemeseydi bile, diyelim ki 14 milyar yıl önce sonsuz ve durağan bir Evren bir anda belirivermiş olsaydı, yine 14 milyar ışık yılından ötesini göremezdik. Yani sonsuzluğu görmemizi engelleyen şey genişlemenin kendisi değil. Durağan bir evrende yeterince beklersek galaksiler ne kadar uzakta olursa olsun ışıkları er geç bize ulaşır. Bizim görünür Evrenimizin ötesindeyse ışık asla genişlemenin hızını alt edemeyecek –tıpkı yukarı çıkan bir yürüyenden merdivende yavaşça aşağı doğru yürüyeni gibi.

Bir önceki bölümde Zeno'nun paradokslarını çözerken soyut mantık yerine sıkı ve kesin bilime başvurmamız gerektiğinin altını çizmiştik. Fakat Olbers Paradoksu'na baktığımızda ilk doğru çözümün sağlam bilimden ziyade sezgisel mantığa dayandığını görüyoruz. Üstelik en beklenmedik bir yerden gelmişti çözüm: 19. yüzyıl Amerikalı yazar ve şair Edgar Allan Poe'dan.

Poe, 1848 yılında, yani kırkında hayata veda etmeden bir yıl önce, genelde en önemli ve etkileyici eseri kabul edilen *Evreka: Bir Düzyazı Şiir* adlı makalesini yayınladı. Altbaşlığı "Maddi ve Ruhani Alem Üzerine Bir Deneme" olan bu etkileyici çalışmasını, verdiği bir konferansın notlarından uyarlamıştı. Poe'nun daha çok doğa yasalarıyla ilgili sezgilerine dayanan çalışmasının bilim eseri olarak geçerliliği yoktur. Bir bakıma, Poe'nun evrenbilim üzerine, Evren'in başlangıcı, evrimi ve sonuyla ilgili akıl yürütmelerinden oluşan bir incelemesidir. Ne var ki Poe görüşlerini bilimsel gerçeklere dayandırmaz. Örneğin Newton yasalarını kendi kafasınca yorumlayarak gezegenlerin oluşumunu ve dönüşlerini kendi geliştirdiği kavramlarla açıklar ki baştan sona yanlıştır. Ama ne olursa olsun, içinde şu ünlü pasajı barındırır:

Yıldızlar ardı ardına sonsuza uzansalardı, gökyüzünün arka planı düzgün bir aydınlığa sahip olurdu, çünkü o arka planda hiç yıldızın olmadığı tek bir nokta dahi bulunmazdı. Bu yüzden teleskoplarla baktığımızda sayısız yerde gözlemlediğimiz bu karanlıkları idrak etmemizin tek çıkış yolu, görünmeyen arka planın, hiçbir ışının henüz bize ulaşmadığı kadar muazzam bir uzaklıkta olduğunu varsaymaktır.

İşte duydunuz. Olbers Paradoksu'nu doğru çözen ilk kişi bir bilim insanı değil, bir şairdi. Bazı tarihçiler, Poe'nun açıklamasının tahmininden ibaret olduğunu, 19. yüzyılın en büyük bilim insanlarından Lord Kelvin'in gerekli hesaplamaları yaparak 1901'de yayınlamasına kadar, paradoksun gerçek anlamda çözüldüğünü söyleyemeyeceğimizi iddia ederler. Ancak Kelvin'in yaptığı Poe'nun fikrinin matematiksel ispatından başka bir şey değildir aslında. Beğensek de beğenmesek de, Poe cevabın tam üstüne basmıştı.

En baştaki soruya dönecek olursak, *gece niye karanlık olur?* Çünkü Evren Büyük Patlama'yla başlamıştır da ondan.

Nihai açılım ve Büyük Patlama'nın kanıtı

Bazen bilim insanlarına Büyük Patlama'nın olduğuna dair bir kanıt var mı elinizde diye sorulur. Onlar da genelde daha önce verdiğim üç standart kanıt söylerler. Fakat Olbers Paradoksu'nu tersine çevirmek çok daha kolay ve ikna edici değil mi? "Geceleri karanlık olur, öyleyse Evren'in bir başlangıç anı olması gerekir, demek ki belirli bir uzaklığın ötesindeki ışıkların bize ulaşması için yeterli zaman geçmemiştir." Sonuçta Büyük Patlama'nın kanıtını görmek isteyenlerin tek yapması gereken, gece gökyüzüne bakmak ve uzayın karanlığına dalmaktır.

DÖRT

Maxwell'in Cini

Devridaim makinesi mümkün müdür?

BİR GRUP FİZİKÇİYE bilimdeki en önemli fikir nedir diye sorarsanız, çok farklı yanıtlar alabilirsiniz: her şeyin atomlardan yapılmış olduğu, Darwin'in evrim kuramı, DNA'nın yapısı, Evren'in Büyük Patlama'yla başlamış olması. Ama hepsi birden Termodinamiğin İkinci Yasası derse de şaşırmayın. Bu bölümde bu önemli fikri inceleyecek ve onu neredeyse kırılma noktasına kadar büken paradoksa göz atacağız.

Maxwell'in Cini Paradoksu basit bir fikirden yola çıkarsa da bilimdeki büyük isimlerin başına bela olmuş, hatta yeni araştırma dallarının ortaya çıkmasına önayak olmuştur. Ne de olsa doğa yasalarının en mahremine el uzatır: Termodinamiğin İkinci Yasası'na, ısı ve enerjinin yer değişimine dair o basit ama derin ilkeye.

Termodinamiğin İkinci Yasası, sıcak su dolu bir şişenin üstüne –lafın gelişi– donmuş bir tavuk koyarsanız (aileme açıklamaya çalışırken bu örneği bulduk), tavuğun buzlarının biraz çözüleceğini, sıcak su dolu şişeninse biraz soğuyacağını söyler. Isının bunun ters yönde giderek suyu daha sıcak, tavuğuyse daha soğuk yaptığını *asla* göremezsiniz. Isı daima sıcak cisimlerden soğuk cisimlere

doğru akar, hiçbir zaman tersine değil –ayrıca denge noktasına gelinceye dek, yani aradaki sıcaklık farkı sıfırlanana dek durmaz. Bunun nesi garip diye düşünüyor olabilirsiniz.

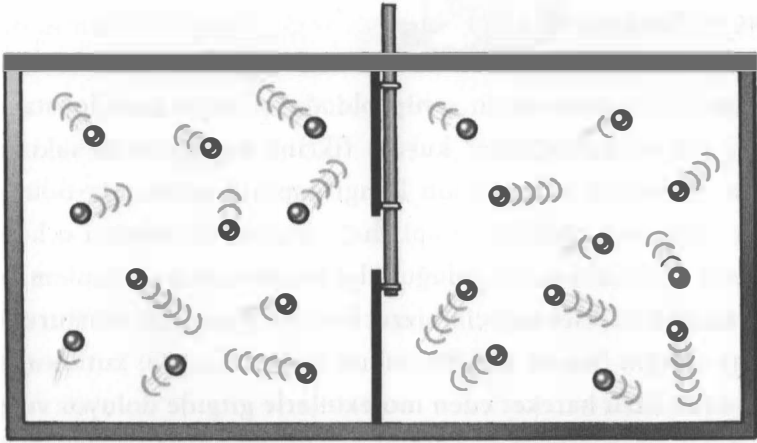
Gelelim Maxwell'in cinine. Öncelikle ilk çıkış fikrine bakalım. İçinde sadece hava olan yalıtılmış bir kutu düşünün. Aralarında kalın, yalıtıcı bir duvarla iki bölüme ayrılmış olsun. Bu duvarın ortasında, herhangi bir taraftan bir molekül yaklaştığında hızla açılıp kapanarak molekülün karşı tarafa geçmesine izin veren bir kapakçık olsun. Her iki tarafın basıncı aynı kalır, çünkü kapakçığa gelen moleküller büyük olasılıkla moleküllerin çok olduğu taraftan gelecektir. Bu moleküller karşıya geçince basınç yine dengelenir.

Bu süreç sonsuza dek sürebilir ve iki taraf arasında bir sıcaklık farkı meydana gelmez. Bunu anlayabilmek için "sıcaklık" kavramını molekül düzeyinde tanımlamamız gerekiyor. Özü itibarıyla, moleküller ortalıkta ne kadar hızlı geziyorlarsa, gaz o kadar sıcak olur. Hava olarak bildiğimiz karışım da dahil tüm gazlar, farklı hızlarda rasgele yönlerde doğru giden trilyonlarca molekül içerirler. Moleküllerin bazıları yavaş, bazıları hızlıdır. Fakat ortalama hızları belirli bir sıcaklık derecesine karşılık gelir. Kutunun içinde, kapakçıktan karşı tarafa geçen moleküllerin bazıları hızlı, bazıları yavaş hareket edenlerden olacaktır, bu yüzden iki bölme arasında bir sıcaklık farkı oluşmaz. Hızlı moleküller yavaşlara oranla daha sık karşıya geçer derseniz haklı olabilirsiniz, fakat hızlı moleküller arasında soldan sağa geçenler ne kadar çoksa karşı yönde geçenler de o kadar çok olacağından bu durum savımızı etkilemez.

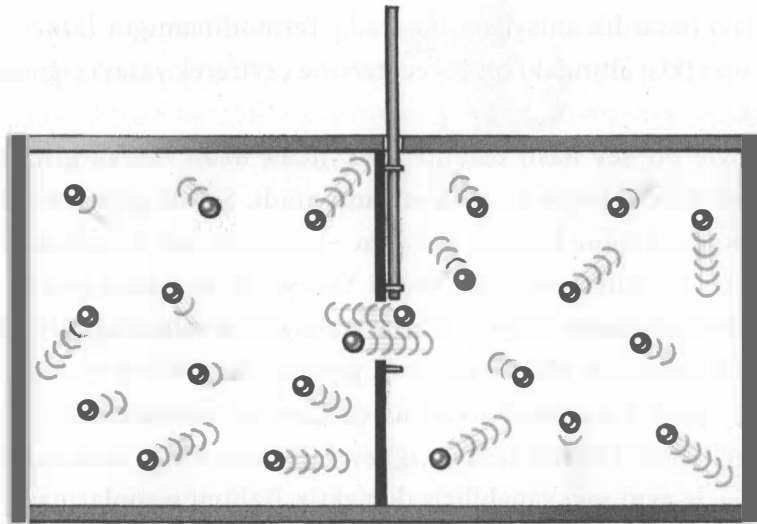
Eğer beni buraya kadar takip ettiyseniz, artık cini salıvermemizin zamanı geldi demektir.

Maxwell'in cini, havadaki molekülleri teker teker görebilecek ve hızlarını saptayabilecek kadar keskin gözlü, ufacık, hayali bir yaratık. Her molekül geldiğinde açılıp kapanan kapakçığın kontrolünü cine devrediyoruz. Moleküller yine karşıdan karşıya geçiyor, ama bu sefer cinin bilgisi ve kontrolü dahilinde. Cin, sol böl-

Şekil 4.1. Maxwell'in hava dolu kutusu



(a) Önce



(b) Sonra

meden sağ bölmeye geçecek moleküllerden sadece hızlı gidenlere kapıyı açıyor; sağdan sola ise sadece yavaş olanlara. Kapakçığın başına böyle bir cini oturttuğumuzda, görünüşe bakılırsa fazladan bir enerji harcaması gerekmemesine rağmen (çünkü önceden de kapakçık her molekül gelişinde açılıp kapanıyordu), bambaşka bir sonuç ortaya çıkıyor.

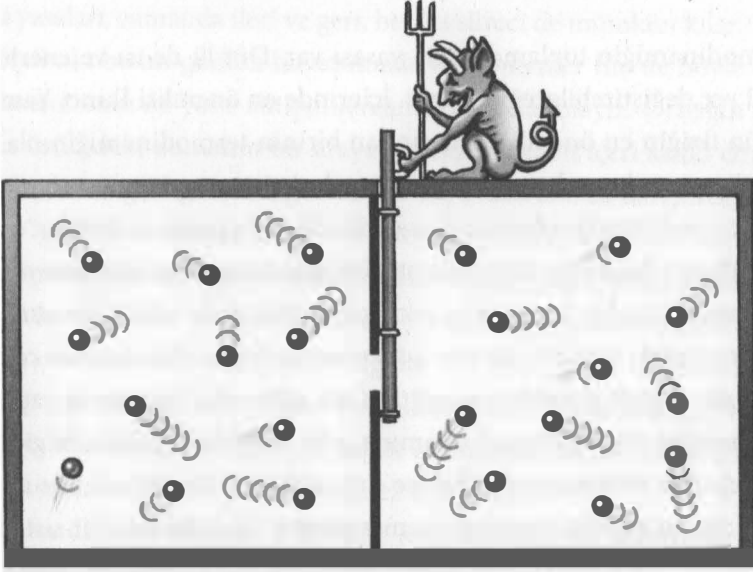
Bu noktada, birinci bölümde incelediğimiz Monty Hall Paradoksu'ndaki sunucunun sahip olduğu bilginin paradoksta oynadığı rol ile paralellikler kurma fikrine kapılırsanız, sakın bu tuzağa düşmeyin. Sunucunun hangi kapının arkasında ödül olduğunu bilmesi, olasılık hesaplamalarımıza etki etmişti o kadar. Maxwell'in cininin sahip olduğu bilgi ise, birazdan çözümlemesini yapacağımız fiziksel sürecin bizzat kilit bir parçasını oluşturuyor.

Kapakçığın başına oturttuğumuz cinin etkisiyle, kutunun sağ tarafı daha hızlı hareket eden moleküllerle gitgide doluyor ve gitgide daha sıcak oluyor. Bu arada sol tarafta daha yavaş hareket eden moleküller artıyor ve gitgide daha soğuk oluyor. Yalnızca cinin bilgisini kullanarak iki bölme arasında bir sıcaklık farkı oluşturmayı başardık anlaşılan; bu arada Termodinamiğin İkinci Yasası'nın etkisi altındaki bir süreci tersine çevirerek yasayı çiğnemiştik.

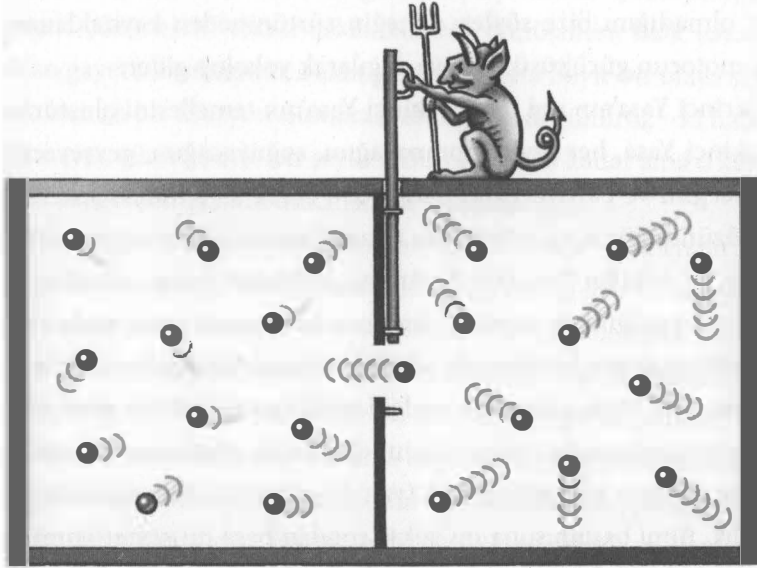
Böyle bir şey nasıl olabilir? Yüzyıldan uzun zaman boyunca pek çok büyük beyin bu soruya yanıt aradı. Şimdi gelin bu paradoksun çözümüne birlikte bakalım –kitaptaki her paradoks gibi bu da çözülebiliyor sonuçta. İkinci Yasa'yı kurtarmamız gerek.

Konunun uzun süre revaçta kalmasının altında, devridaim makineleriyle olan bağlantısı yatıyor. Devridaim makineleri, hiç enerji harcamadan süresiz çalışabilen düzeneklerdir. Eğer Maxwell'in cini İkinci Yasa'yı çiğneyebiliyorsa, biz de mekanik bir düzenekle aynı şeyi yapabiliriz demektir. Bölümün sonlarına doğru bazı bu tarz makinelere bakacağız. Oraya gelene kadar, böylesi makinelerin imkânsızlığına ikna olacağınızı umuyorum.

Şekil 4.2. Maxwell'in cini



(a) Önce



(b) Sonra

Geri kurmaca, karıştırmaca ve tepelerden aşağı yuvarlanmaca

Termodinamiğin toplamda dört yasağı var. Dördü de ısı ve enerjinin nasıl yer değiştirebileceğiyle ilgili. İçlerinde en önemlisi İkinci Yasa'dır. Bütün fiziğin en önemli yasalarından birinin termodinamiğin ola ola ikinci yasağı olması bana hep gülünç gelmiştir.

Termodinamiğin Birinci Yasağı bilindik bir gerçeği ifade eder: enerji bir türden başka bir türe dönüştürülebilir fakat yaratılamaz veya yok edilemez. Genelde biraz daha teknik bir dille ifade edilir: *bir sistemin iç enerjisindeki değişim, sisteme dışarıdan verilen ısı eksi sistemin çevresi üzerinde yaptığı iş miktarına eşittir.* z itibarıyla "her şey iş yapmak için enerjiye ihtiyaç duyar" anlamına gelir –arabanın yakıtı, bilgisayarı elektriğe ihtiyaç vardır; biz ise sırf canlı kalabilmek için bile enerji tüketiriz, bu yüzden yemek yememiz gerekir. Tüm bunlar, bir sistemin "faydalı iş" yapabilmesi için ihtiyaç duyduğu enerji türlerine örnektir. Bu bağlamda "faydalı" szcğu bazı enerji türlerinin yapıcı kullanım alanı olmadığını bize söyler: Örneğin sürtünmeden kaynaklanan ısı, veya motorun gürültüsü çevreye dağılarak yokolup gider.

Birinci Yasa'nın asıl nemi İkinci Yasa'nın temellerini oluşturmasıdır. İkinci Yasa, her şeyin yıpranacağını, soğuyacağını, gevşeyeceğini, eskiyeceğini ve ryeceğini ifade eder. Sıcak su içindeki şekerin neden çözündüğünü, ve neden asla tekrar birleşip şeker oluşturmadığını açıklar. Su dolu bir bardakta duran buz kbnn neden kaçınılmaz bir şekilde eriyeceğini de açıklar: Çünkü ısı her zaman sıcak sudan soğuk buz kbne doğru hareket edecek, asla tersi yönde gitmeyecektir.

Peki ama böyle olmasının nedeni ne? Dünyayı tek tek atom ve moleküllerin çarpışmaları ve etkileşimleri olarak görebilseydik, zamanın ne yöne aktığını ayırt edemezdik (yani bu süreci bir film gibi seyreliyor olsaydık, filmi baştan sona mı yoksa sondan başa mı seyrettiğimizi anlayamazdık). Çünkü atomik boyutta, bütün fiziksel süreçler "tersinir"dir, yani her iki yöne doğru da gerekleşebilirler; örneğin bir nötrino bir nt-

ronla etkileşirse bir proton ve elektrona dönüşürler, ama aynı şekilde bir proton ve elektron da çarpışarak bir nötron ve nötrinoya dönüşebilirler. Fizik yasaları, zamanda ileri ve geri, her iki süreci de mümkün kılar.

Halbuki bizim günlük hayatımızda olan bitenler hiç de böyle değildir; zamanın ne yöne aktığını anlamakta zorlanmayız. Örneğin bacanın üstündeki dumanın bir araya gelerek bacadan içeri sanki emiliyormuşçasına girdiğini asla görmeyiz. Veya kahvenizde karıştırdığınız şekeri “geri karıştırarak” şeker elde edemezsiniz. Aynı şekilde, sönmüş bir ateşin küllerinin “geri yanarak” tekrar odun oluşturduğu görülmemiştir. Bu olayların atomik boyuttaki tersinir olaylardan ne farkı var? Neden çevremizde gördüğümüz olgular hiç tersi yönde de gerçekleşmiyor? Atomların boyutundan baca dumanının boyutuna geçerken, veya bir bardak kahvenin veya odun kütüğünün boyutuna geçerken hangi aşamada bu süreçler tersinemez hale geliyor?

Daha dikkatli bakınca anlıyoruz ki, bahsettiğimiz süreçlerin *asla* ters yönde de olmayacağını söyleyemeyiz, ancak böyle bir şeyin olasılığının çok ama çok düşük olduğunu söyleyebiliriz. Çözünmüş şekerin “geri çözünerek” tekrar şeker kübüne dönüşmesi, fizik yasaları açısından gayet mümkündür. Fakat gerçek hayatta böyle bir olaya şahit olursak, bunun bir illüzyon numarası olduğunu düşünürüz –ki haksız da sayılmayız, çünkü böyle bir şeyin olma olasılığı o kadar ama o kadar düşüktür ki, gerçek hayatta imkânsız kategorisine girer.

İkinci Yasa’yı daha iyi anlayabilmemiz için, “entropi” denilen bir şeyden bahsedeceğiz şimdi. Bu bölümde lafı çok geçeceği için ne olduğunu açık seçik anlamamız önemli. Yine de baştan uyarayım: ne kadar dikkatlice anlatırsam anlatayım, entropi kavramı hep biraz havada kalacaktır.

Entropinin böyle kafa karıştırıcı bir kavram olmasının nedeni, karışıklık geldiği şeyin ele aldığımız duruma bağlı olarak değişmesinden kaynaklanır. Birkaç örnekle açıklayalım. Bir tanıma göre entropi dağınıklık ve düzensizliğin ölçüsüdür. Bir iskambil destesi renklerine ve sayılarına göre, ikiden asa kadar dizilmişse, böyle bir destenin entropisi düşüktür. Kartları biraz kardığımızda sıra bozulur ve destenin entropisi artar. Peki

kartları karmaya devam edersek düzen nasıl değişir? Cevap açık: çok büyük ihtimalle kartlar ilk düzenlerine dönmez, daha da karışır. Demek ki entropi, kağıtları kardıkça artma eğiliminde. Kartlar tamamen karıştığında entropi artık en yüksek değerine ulaşmış demektir; daha çok karıştırmakla düzen daha fazla bozulamaz. Hiç karılmamış destenin tek ve eşsiz bir dizilimi vardır, karılmış destenin ise bir sürü farklı dizilimi vardır; bu yüzden kartları karmak çok çok büyük ihtimalle tek yönlü bir hareket olacaktır: düzenliden karışığa doğru, yani düşük entropiden yüksek entropiye doğru. Kısmen çözünmüş şekerde de durum aynıdır, karıştırmayı sürdürürseniz çözünmeye devam eder.

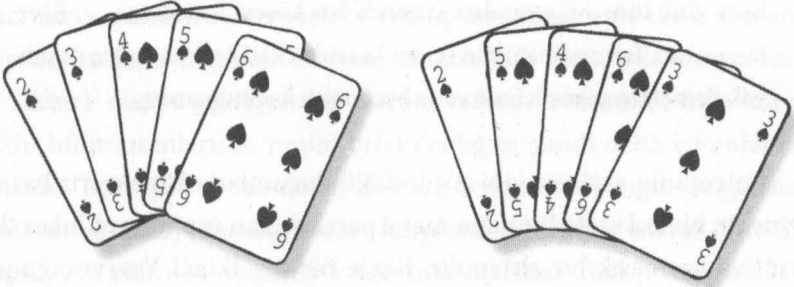
Buradan anlıyoruz ki Termodinamiğin İkinci Yasası, fiziksel dünyanın belirli bir özelliği olmaktan ziyade istatistiksel bir sonuçtur. Düşük entropili durumların yüksek entropili durumlara doğru evrilme olasılığı, tersinin olasılığına oranla çok daha yüksektir o kadar.

Sözünü ettiğimiz olasılıkların niceliğine dair fikir vermesi açısından şöyle bir örnek verebiliriz: Tamamen karılmış bir iskambil destesini tekrar kararak her dört rengi sıralı bir deste elde etme olasılığı, milli piyangoyu bir kez değil, iki kez değil, tam dokuz kez üst üste kazanma olasılığına denktir!

Bunun yanı sıra entropiyi, bir şeyin bir işi yerine getirmek için enerji harcama yeteneği olarak da düşünebiliriz. Bu durumda, enerji harcama yeteneği ne kadar yüksekse, entropi düzeyi o derece düşük olmalıdır. Dolayısıyla örneğin tamamen dolu bir pilin entropisi düşük olur; pil boşaldıkça entropi artar. Kurmalı bir oyuncak kuruluyken entropisi düşüktür; yayı boşaldıkça entropisi artar. Tamamen boşaldığında, kendimiz enerji harcayarak tekrar kurabilir, entropisini tekrar eski düşük seviyesine getirebiliriz.

Termodinamiğin İkinci Yasası temel anlamda entropiyle ilgili bir önermedir, der ki: dışarıdan enerji verilmediği sürece entropi hep artar, hiç azalmaz. Bu yüzden kurmalı oyuncak örneğinde, yayını tekrar kurduğumuzda İkinci Yasa çiğnenmiş olmaz çünkü sistem (kurmalı oyuncak), çevresinden (bizden) yalıtılmış değildir. Oyuncanın entropisi azalır fakat biz onu kurarak “iş yaparız”; ve bizim entropimizdeki

Şekil 4.3. Dağınıklık olarak entropi



Soldaki beş kağıt, sağdakilere göre daha düşük-entropili olacak şekilde düzenlenmiş.

artış miktarı, oyuncağın entropisindeki düşüş miktarını fazlasıyla karşılar. Dolayısıyla tümüne baktığımızda, “oyuncak + bizim toplam entropimiz” artmış olur.

İkinci Yasa bu sayede zamanın akış yönünü belirler. Bunun aşıkardığını düşünebilirsiniz: zaman tabii ki geçmişten geleceğe akar. Ancak “geçmişten geleceğe akar” sözü, bu sürecin bizim bakış açımıza göre tanıımıdır sadece. Daha bilimsel bir tanıma ulaşmak için, geçmişle (olmuş olduğunu hatırladığımız şeylerle) gelecek (henüz olmamış olanlar) arasındaki öznel ayırımımızdan kaçınmak adına cansız bir evren hayal edelim. Bu durumda zamanın artan entropi yönünde aktığını söylemek, bilimsel açıdan daha anlamlı ve yararlıdır. Zamanın akışını bu şekilde fiziksel bir süreçle tanımlayarak, kendimizi ve öznel beyinlerimizi denklemin dışına itmiş oluruz. Bu tanım sadece tekil sistemler için değil, bütün Evren için geçerlidir. Dolayısıyla eğer birisi entropinin azaldığı *yalıtılmış* bir sistemle karşınıza gelirse, zamanın tersine dönmüş olduğunu söyleyebilirsiniz –ki böyle bir şeyin sırf düşüncesi bile çok acaip (en azından kitabın bu bölümünde!).

İngiliz gökbilimci Arthur Eddington, İkinci Yasa'yla ilgili şöyle demişti:

Entropinin daima arttığı yasası, yani Termodinamiğin İkinci Yasası, bana göre tüm doğa yasaları arasında baş köşeyi hak ediyor . . . Eğer kuramınız Termodinamiğin İkinci Yasası'na karşı geliyorsa hiç ümidi yok demektir; utanç içinde yerle bir olması kaçınılmazdır.

Entropinin azalıyor gibi görüldüğü durumlarla karşılaşırız bazen. Örneğin bir kol saati, bir yığın metal parçasından yapılmış oldukça düzenli ve karmaşık bir sistemdir. Böyle bir şey İkinci Yasa'yı çiğniyor olmaz mı? Hayır olmaz. Bu örnek kurmalı oyuncak örneğimizin biraz daha karmaşık versiyonudur o kadar. Saat ustası saati yaparken belli bir emek harcamış, kendi entropisini artırmıştır. Kaldı ki saatin parçaları için madenleri eritme ve metallere şekil verme işlemleri sırasında açığa çıkan atık ısı, saatin yapılması sırasında meydana gelen entropi azalmasını fazlasıyla karşılar.

Maxwell'in cininin kafamızı karıştırması da aynı nedenden kaynaklanır. Havadaki atomları düzenleyerek kutunun entropisini azaltmakla, saatçinin yaptığına benzer bir iş yapar –hem de hiç fiziksel olarak dokunmadan. Genel bir kural olarak, entropi azalıyor gibi gözüküyorsa, sonunda hep sözkonusu sistemin çevresinden tam yalıtılmadığı ortaya çıkar; daha büyük resme baktığımızda entropinin toplamda arttığını görürüz. Gezegenimizin yüzeyinde, yaşamın evrilmesinden tutun, son derece düzenli ve karmaşık yapıların oluşmasına kadar, entropisi azalıyor gibi görünen pek çok süreç gözlemleyebiliriz. Arabaların da, kedilerin de, bilgisayarların da, kabakların da entropisi ham maddelerinden daha düşüktür. Yine de hiçbiri İkinci Yasa'yı çiğneyemez. Unutmamalıyız ki bütün gezegen bile çevresinden yalıtılmış değildir. Sonuçta Dünya'daki bütün hayat, ve dolayısıyla düşük entropili tüm yapılar, varlıklarını güneş ışığına borçludurlar. Dünya + Güneş ortak sistemini düşündüğümüzde, Güneş'in uzaya saçtığı ışımadan dolayı toplam entropinin artmakta olduğunu görürüz. Bu ışımanın küçük bir kısmı

Dünyamız tarafından emilerek yaşamı ve dolayısıyla tüm düşük-entropili karmaşık yapıları besler. Örneğin kabak bitkisi Güneş'in enerjisini fotosentez yoluyla alır; bu enerjiyi kullanıp yüksek karmaşıklıkta yeni hücreler yaparak büyür; böylece entropisini düşürmüş olur. Toplamdaysa entropi, Dünya'daki azalmaya oranla çok daha fazla artmış olur.

İkinci Yasa'yı çiğneyen bir durum bulma sevdasının, niye bunca yıldır biliminsanlarının peşini bırakmadığını şimdi daha iyi anlamışsınızdır. Bu kişilerin içinde en dikkate değer olanı, ışığın dalgalanan elektrik ve manyetik alanlardan meydana geldiğini bularak üne kavuşan 19. yüzyılda yaşamış İskoç matematiksel fizikçi James Clerk Maxwell'dir. 1867'de verdiği halka açık bir konferansta, Termodinamiğin İkinci Yasası'nı çürütmek adına, içinde kapakçığı kontrol eden hayali cinin geçtiği ünlü düşünce deneyini açıklar. Kapakçığı kontrol eden cin, havadaki enerjisi yüksek, "sıcak" moleküllerin yalnızca bir tarafa, yavaş ve "soğuk" moleküllerinse yalnızca diğer tarafa geçmesine izin verir. Böylece molekülleri ayrıştırarak odacıklardan birinin gittikçe daha sıcak, diğerininse gittikçe daha soğuk olmasına neden olur. Bu durum İkinci Yasa'ya tamamen aykırıdır, çünkü önceden açıkladığımız üzere, kapı eskiden de moleküller geldikçe kapanıp açılıyordu; cin kapıyı açıp kaparken fazladan bir enerji harcamaz. Gelgelelim, moleküller iki bölmeye ayrıştıkça kutunun toplam entropisi azalmaktadır.

Tek-yönlü vana

Bu paradoksu çözmek için nasıl bir yöntem uygulamalıyız? Maxwell'in cini kutunun entropisini düşürebilir mi? Eğer gerçekten düşürebiliyorsa İkinci Yasa'yı nasıl kurtaracağız? Gelin bu sorulara önce bir fizikçi gibi yaklaşalım: soru için kilit önemi olmayan ayrıntıların hepsini atalım –bu örnekte cini, aynı işi yapabilecek mekanik bir düzenekle değiştirelim. Cinin davranışını sergileyebilecek mekanik bir işlem var mı? Cinin bir bakıma tek-yönlü bir vana gibi davrandığını söyleyebiliriz. O

zaman acaba kutunun iki bölmesi arasında bir dengesizlik oluşturarak entropiyi düşürecek, böylece enerji elde etmemizi sağlayacak bir vana yapılabilir mi buna bakmalıyız. Gerçi dikkatli bir incelemeye daha başlamadan bile, böyle bir olasılığın pek gerçekçi olmayacağını tahmin ediyorsunuzdur. Sonuçta eğer bu mümkün olsaydı dünyanın enerji sorunu da kalmazdı. Demek ki sırf buna bakarak bile bunun uzak bir olasılık olduğunu söyleyebiliriz.

Yine de, tek-yönlü vana kullanarak dengedeki sistemlerden enerji elde edemeyeceğimizden nasıl emin olabiliriz? Belki İkinci Yasa o kadar da dokunulmaz değildir. Sonuçta Einstein ortaya çıkıp da Genel Görelilik Kuramı'yla daha kesin ve kökten değişik bir resim sunmadan önce, herkes Newton'un yerçekim yasasının kusursuz olduğuna inanmıyor muydu? Termodinamiğin İkinci Yasası'nda da buna benzer gizli bir boşluk olamaz mı? Belki de günün birinde zekâsı, cesareti ve hayal gücü yeterince yüksek biri ortaya çıkıp daha iyi bir kuram sunacaktır, olamaz mı?

Cevap maalesef hayır. Newton'un yasası, bulduğu matematiksel bir formüle dayanır. Bu formül ise doğada gözlenen bir olguyu –cisimlerin kütlelerine ve birbirlerinden uzaklıklarına bağlı olarak, aralarında oluşan çekim kuvvetini– açıklar. Einstein bu formülün yanlış olmasa da kaba olduğunu gösterdi; kütleçekimini uzay ve zamanın eğriliğiyle çok daha derin, çok daha doğru (ve ne yazık ki çok daha karmaşık matematik içeren) bir şekilde açıklamak mümkündü.

Termodinamiğin İkinci Yasası'nda ise durum farklıdır. Gözlemlerle bulunmuş da olsa, soyut istatistik ve mantıkla aynı sonuca varılabilir. Günümüzde tüm gözlemlerden daha güçlü ve kesin bir temel üzerine oturtulmuştur. Hatta bizzat Einstein, “asla yıkılamayacağına ikna olduğum evrensel çaptaki tek fiziksel kuram” diye yazmıştır.

Gelin Maxwell'in cininin basitleştirilmiş halini kurup neler olduğuna bakalım. Kutunun iki yanı arasında yavaşça ve kendiliğinden oluşabilecek herhangi bir “dengesizliğin” entropinin düşmesi anlamına geleceğini kabul ederseniz, o zaman sıcaklık farkı koşulunu basınç farkı koşuluyla değiştirmemize itiraz etmezsiniz. Sonuçta bu durumu

da faydalı iş yapmak için (birazdan göreceğimiz üzere) kullanabiliriz. Ayrıca basınçların farklı olduğu durum, her iki tarafın eşit basınçta olduğu duruma göre daha düşük-entropiye sahiptir. Yalnız bu durumda odacıklar farklı hızlarda moleküller değil, farklı miktarda molekül içerirler. İçinde daha çok molekül olan tarafın basıncı daha yüksek olur. Moleküller boyutta basınçtan kastımız, odacığın duvarlarına çarpan molekül sayısıdır.

Basınç farkının faydalı iş yapmada nasıl kullanılabileceğini görmek için iki odacık arasındaki bölmeyi elimizle açtığımızı düşünün. Eğer bir tarafın basıncı daha fazlayla, basıncı dengelemek için hava bir taraftan öbürüne doğru hızla akacaktır (bu arada entropi de artar). Bu hava akışı faydalı iş yapmak için kullanılabilir. Örneğin bir hava türbini döndürerek elektrik üretilebilir. Demek ki bu basınç farkı, enerji depolamakla aynı şey; tıpkı kurmalı bir oyuncakı kurmak veya bir pili şarj etmek gibi. Böyle bir şeyin kendiliğinden olması, İkinci Yasa'nın çiğnenmesi anlamına gelir.

Böyle bir düzenekte kullanılabileceğimiz, tek-yönlü vana görevi görecektir en basit şey, bölmeler arasına konacak tek yöne açılan bir kanatlı kapı olabilir; soldan gelen moleküller çarpınca açılır ve molekülleri karşıya geçirir, ama geçtikten sonra yayı sayesinde hemen geri kapanır. Sağdan çarpan moleküllerin tek etkisi ittirip daha da sıkı kapanmasını sağlamak olur. Ne yazık ki böyle bir düzenekten hayır gelmez, çünkü iki odacık arasında en ufak bir basınç farkı oluştuğunda, soldan gelip çarpan moleküllerin basıncı sağ tarafın basıncını alt etmeye yetmez ve kapı kapalı kalır.

Bu noktada şöyle düşünüyor olabilirsiniz: Bu düzeneğin işe yaramaz hale gelmesi için iki odacık arasında, düşük basınçlı sol odacıktan gelen moleküllerin kapıyı açamayacağı kadar basınç farkı oluşması gerekir. İlk birkaç hızlı molekül karşıya geçip de basınç farkı oluşturmaya başlayana dek, kısa bir süreliğine de olsa düzenek işlevini gerçekleştirir. O zaman da İkinci Yasa çiğnenmiş olur. En ufak bir basıncın serbest bırakılması bile küçük bir miktar elektrik üretecek kadar türbini döndürecektir. Bu süreç azar azar elektrik üretmek için durmadan baştan

tekrarlanabileceğine göre, İkinci Yasa'nın başı belada demektir. Bu beladan kurtulmak için neden *en ufak* bir basınç farkının bile oluşamayacağı anlamak zorundayız.

Şu ana kadar, trilyonlarca molekülden (veya her neyden yapıldıysa ondan) oluşan kapakçığı, tek tek hava moleküllerinin açabildiğini varsaydık. Gerçekteyse, madem olaya havadaki molekülleri göz önüne alacak kadar yakından bakıyoruz, kapıya da öyle bakmalıyız. Ve o kadar yakından bakarsak, kapakçığı oluşturan moleküllerin de gelişigüzel titreşip sallandığını görürüz. Sol taraftan kapakçığa çarpıp açılmasına neden olan tek bir hızlı molekül bile enerjisinin bir kısmını kapıdaki moleküllere verir; böylece bu moleküller daha çok titreşir ve o arada yanlış yönde giden başka bir molekülün geçmesine tam yetecek kadar bir süreliğine kapının açılıp kapanmasına neden olur. Tabii mutlaka bire bir değişim olacak diye bir şey yok, ama sonuçta her iki taraftan bombardıman altında tutulan kapı, moleküler düzeyde sürekli titreşir ve asla tek-yönlü bir vana gibi çalışmaz.

Basınç yerine sıcaklık farkı olduğu duruma bakarsak yine aynı mantığın yürütülebileceğini görürüz. Isı dediğimiz şey aslında moleküllerin titreşmesinden başka bir şey değildir; moleküller çarpıştığı zaman birinden diğerine aktarılabilir. Bu durum sadece havadaki moleküller için değil, kapakçıktaki moleküller için de geçerlidir. Dolayısıyla ne zaman sol taraftan gelen hızlı bir molekül kapıya çarpıp açsa, enerjisinin bir kısmını kapının moleküllerine aktarır ve daha çok titreşmelerine neden olur. Bu enerji (veya ısı), sol odacıkta kalan diğer hava moleküllerine daha sonra geri aktarılacaktır. Böylece hızlı molekülün enerjisinin bir kısmı, terk ettiği odacığa geri dönmüş olur. Giderken sağ odacığa yanında götürdüğü geri kalan enerji ise, kapıyı sağ taraftan çarptıkça önünde sonunda kapıya aktarılır ve oradan sol tarafa geri geçer. Böylece sağ tarafta ne kadar hızlı molekül varsa sol tarafta da o kadar hızlı molekül olur.

Buradan çıkan ders şu: yalnızca tek bir yönden gelen moleküllere tepki vererek tek-yönlü vana görevi gören kapakçığın kendisi, enerji ak-

tarımı sürecinin dışında tutulamaz. Eğer tek bir moleküle tepki gösterebilecek kadar hassassa, bu hassasiyeti o molekülden etkilenmesine neden olur. Bu yüzden odacıklar arasındaki bir yalıtkan gibi davranamaz.

Fakat cin bundan daha zeki . . .

Sizi Leo Szilárd adındaki Macar bilimadamı ve mucitle tanıştırmak istiyorum. 1928 ila 1932 arasındaki hummalı dönemde, henüz otuzlu yaşlarının başlarındaiken, Szilárd hepsi bilimsel araştırmalarda hâlâ kullanılan tarihteki en önemli makinelerden bir kısmını icat etti: 1928'de doğrusal parçacık hızlandırıcı, 1931'de elektron mikroskobu, ve 1932'de siklotron. İnanılmaz bir biçimde her üç seferde de ne çalışmalarını yayınladı, ne fikirlerin patentlerini aldı, hatta ne de makinelelerin prototiplerini inşa etti. Her üç icat da Szilárd'ın çalışmalarını sonradan takip eden başka isimler tarafından geliştirildi. Hatta bunlardan iki tanesi başka fizikçilere Nobel ödülü kazandırdı (siklotronu geliştirdiği için Amerikalı Ernest Lawrence'a ve ilk elektron mikroskobunu geliştirdiği için Alman Ernst Ruska'ya).

Bu yoğun yaratıcılık dönemi sırasında 1929'da Szilárd, çalkantı yaratan anahtar bir makale yayınladı. "Bir Termodinamik Sistemde Zeki Bir Varlığın Müdahalesiyle Entropinin Azaltılması Üzerine" başlığını taşıyan makalede, günümüzde "Szilárd motoru" adıyla bilinen, Maxwell'in cininin değişik bir türünü anlatıyordu. Fakat onun versiyonunda paradoksun özünü oluşturan şey fiziksel bir süreç değildi. Olay tam da Maxwell'in korktuğu üzere, cinin zekâsından ve moleküllerin durumuyla ilgili bilgisinden kaynaklanıyordu. Ne kadar dahiyene olursa olsun, paradoks mekanik bir düzenele çözülemezdi.

Tek-yönlü vana veya kapakçık ne kadar zekice tasarlanmış olursa olsun, hava moleküllerinin gelişigüzel çarpmasıyla iki odacık arasında kendiliğinden bir sıcaklık veya basınç farkı oluşmasının mümkün olmadığını söyledik. Mutlaka dışarıdan bir şekilde yardım gerekiyor. İşin

ilginç yanı, yardım olarak basit bir bilgi bile yeterli olabiliyor.

Başladığımız yere döndük anlaşılan: fiziksel yasaların zekâdan ve düşünceden yoksun istatistiksel dünyasına bilgi, hatta bilinç gibi soyut kavramları sokmaya uğraşıyoruz. Termodinamiğin İkinci Yasası'nın sadece cansız bir evrende geçerli olduğunu kabul etmek zorunda olduğumuz bir noktaya mı geldik sonunda? Yaşama dair fizikle kuşatılamayan büyü bir şey mi var? Tam tersine, Szilárd'ın çözümü İkinci Yasa'nın evrenselliğinin dâhiyane bir onaylamasıydı.

Kutunun her iki odacığında ellişer tane olmak üzere toplam yüz molekül olsun. (Tabii gerçekte trilyonlarca molekül olur ama biz basit yaklaşalım). Moleküller her iki tarafta da hızlı ve yavaş moleküller olacak şekilde rasgele dağılmış olsun (dolayısıyla her iki tarafın ortalama sıcaklıkları eşit). Cin, kapakçığı dikkatlice açıp kapatarak bir taraftaki yirmibeş hızlı molekülü öbür tarafa, öbür taraftaki 25 yavaş molekülü de bu tarafa geçiriyor. Bunu yapmak için kapakçığı 50 kez açıp kapaması gerek. Bu noktada aklınıza şu gelebilir: cinin kapakçığı açıp kaparken harcadığı enerji, ne kadar küçük olursa olsun, entropiyi düşürmek için ödediği bedeldir. Bu dış enerji oyuncağı kurmaya denktir –yani bir şeyin entropisini azaltayım derken başka bir yerin entropisini arttırmak demektir. Ancak eğer cinin moleküllerin durumuyla ilgili hiç bilgisi olmasaydı (demek istediğim hangisi hızlı hangisi yavaş ayırt edemeseydi) ve kapakçığı 50 kere gelişigüzel açıp kapatarak soldaki moleküllerin yarısının sağa, sağdakilerin yarısının da sola geçişine izin verseydi, bu durumda her iki taraf yine aynı sıcaklıkta olurdu; çünkü sonuçta her iki yönden ortalama olarak eşit sayıda hızlı ve yavaş molekül karşıya geçmiş olurdu. Demek ki hiçbir bilginin olmadığı durumda, veya bilgi varsa bile kullanılmadığı durumda, entropide bir azalma görmeyiz. Ama cin kapakçığı elli kere açıp kapatarak yine aynı enerjiyi kullanmış oldu. Belli ki kapakçığı hareket ettirmek için gereken çabanın molekülleri ayırma süreciyle bir ilgisi yok.

Szilárd, bilginin bu süreçte nereye oturtulması gerektiğini buldu. Ona göre cin, kapakçığı hareket ettirirken olmasa da moleküllerin hı-

zını hesaplarken enerji harcamak zorundaydı. Demek ki bilgi edinmenin bir enerji bedeli vardı –cinin beynindeki bilgileri düzenlemek için harcanan bir enerji. Işın özünde bilgi, beyin veya bilgisayarın bellek birimlerinin düzenli bir halinden başka bir şey değildir aslında –bir tür düşük-entropi hali. Aklımızda ne kadar çok bilgi tutarsak, beynimiz o kadar çok yapılandırılmış ve düzenlenmiş demektir –bir başka deyişle o kadar çok düşük-entropilidir.

Bilgi sahibi olmanın bu düşük-entropi hali, bize faydalı iş yapma becerisi verir. Bu açıdan bilgi, potansiyel enerji depolayan pil gibidir; başka bir yerin entropisini düşürmek için kullanılabilir.

Maxwell'in cini asla tam verimli olmaz elbette. Tüm moleküllerin yerleri ve halleri (sıcaklıkları) hakkında bilgi edinebilmek için enerji kullanması gerekir. Bilgi edinmek için kullanılan bu enerji, dış ortamın entropisini arttırır. Moleküller arasında ayırım yapabilmek için bu bilgiyi kullandığında da yine bir miktar enerji harcar. Cin enerji kullandıkça dışarının entropisi daha da artar.

Özetlersek, demek ki bilgisayarı (veya beyni), elektrik (veya yiyecek) gibi düşük-entropili enerjiyi alıp bilgiye dönüştürebilen bir makine olarak düşünebiliriz. Ardından bu bilgi, fiziksel bir sistemin entropisini düşürmek için kullanılabilir ve böylece faydalı iş yapma becerisi kazandırılabilir. Sürecin hiçbir adımı %100 verimli olmayacağından, bir miktar ısı kaybı olması kaçınılmazdır. Üstelik entropi artışı sadece artık-ısıdan kaynaklanmaz; cin, bilgi edinmek için sonuçta bir çaba harcamaktadır ve bu çabanın enerjisini çevre ortamın entropisini artırarak sağlar. Birlikte bu iki etken, bilginin işlenmesinden kaynaklanan entropi azalışını fazlasıyla karşılar. İkinci Yasa da kurtarılmış olur.

Zaten “rassal” ne demek ki?

Gelin, düzen ve düzensizlik konusunu daha yakından irdeleyerek İkinci Yasa'ya tekrar bakalım, çünkü entropinin tam anlamıyla ne demek

olduğunu ancak o zaman anlayabiliriz. İskambil kartlarını karma örneğinde, renge ve sayıya göre dizili bir destenin entropisinin düşük, gelişigüzel karılmış bir destenin entropisininse yüksek olduğuna pek şüphe yoktu. Peki ama ya deste sadece iki karttan oluşsaydı? Bu durumda kartları dizmenin sadece iki yolu olacağından, daha düzenli veya daha düzensiz dizilimden bahsetmenin bir anlamı olmaz. Peki ya üç kart, örneğin kupa ikili, üçlü ve dörtlü? Bu durumda “iki, üç, dört” diziliminin örneğin “dört, iki, üç”e göre daha düzenli, dolayısıyla daha düşük entropili olduğunu söyleyebiliriz. Sonuçta kartlar ilk dizilimde artan sıradalar. Peki ama ya kartların üçü de ikili olsaydı, örneğin kupa, karo ve maça ikilisi? Bu durumda bir dizilim diğerlerinden daha düzenlidir diyebilir miyiz? Değişen tek şey, bu sefer kartları sayılarına göre değil de renklerine göre tanımlıyoruz. Entropi miktarı kartları nasıl adlandırdığımıza bağlı olacak değil ya? “Kupa ikili, karo ikili, maça ikili” sıralamasının entropisi, “karo ikili, kupa ikili, maça ikili” sıralamasınınkinden ne daha az, ne de daha fazla olabilir, öyle değil mi?

Düzensizlik tanımımız dar olduğu için entropiyi düzensizlik miktarı olarak tanımlamamız eksik oldu anlaşılan. Düzensizlik derken ne kastettiğimiz bazı durumlarda bariz, ama bazı durumlarda belirsiz oluyor. Ne demek istediğimi tam anlatabilmek için bayat bir kart numarasına başvuracağım. Dizilmiş bir deste iskambil kartını alıp gözünüzün önünde iyice karıyorum. “Bakın şimdi” diyorum, kartları gayet sıradan bir şekilde tekrar karıyorum. Karıştırmam bitince, kartları çok özel bir şekilde dizdiğimi iddia ediyorum. Bu çarpıcı bir iddia, ne de olsa ikinci karmamın desteyi bozmak için yaptığım ilk karmamdan görünüşte hiçbir farkı yoktu. Desteyi ters çevirip masanın üstüne serince şaşkınlığınızı, aynı zamanda da hayal kırıklığınızı saklayamıyorsunuz. Çünkü kartlar gayet gelişigüzel dağılmış gibi görünüyor. “Bu dizilimin nesi özel!” diye itiraz ediyorsunuz.

Özel olmaz olur mu hiç. İddiaya girerim bir başka desteyi alıp kararak aynı dizilimi elde edemezsiniz! Bunu başarma olasılığınız, herhangi karışık bir desteyi alıp kararak başlangıç dizilimini elde etmenizle

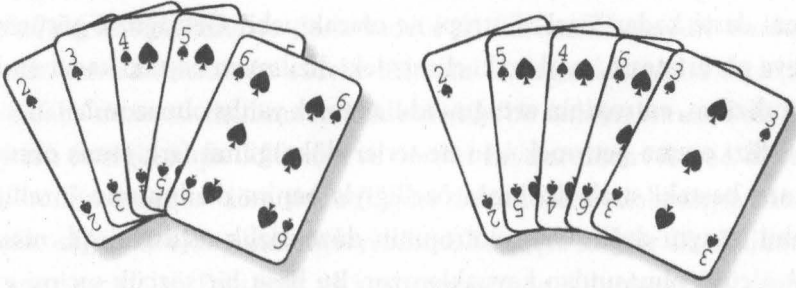
eşittir. Bu da trilyon kere trilyon kere trilyon kere trilyon kere trilyon kere trilyon kere yüz milyonda birdir. Kısacası boş yere uğraşmayın. Bu açıdan baktığımızda, benim gelişigüzel dizili destem, hiç karılmamış yeni deste kadar “özel”. Entropi ne olacak peki? Gelişigüzel görünsün veya görünmesin, madem ki elimizdeki dizilim en baştaki kadar ender bir dizilim, entropinin arttığını iddia etmek yanlış olmaz mı?

Sizi oyuna getirmek için ne terler döktüğümü fark etmiş olmalısınız; baştaki sıralı dizilimin özelliğiyle benim diziliminin “özelligi” tabii ki aynı değil. Olay, entropinin düzensizlik ölçüsü değil, *rassallık* ölçüsü olmasından kaynaklanıyor. Bu basit bir sözcük seçimi gibi gelebilir, ama aslında entropiyi daha sağlam tanımlamamızı sağlıyor. “Özellığın” görece miktarını ölçmek için kullanılan teknik terim, “algoritmik rassallık”.

“Algoritma” sözcüğü bilgisayar biliminde, bir bilgisayar programındaki komut dizisi anlamında kullanılır. Algoritmik rassallık ise, bilgisayarın belirli bir kart dizisini (veya sayı dizisini) baştan üretmesini sağlayacak en kısa programın uzunluğu olarak tanımlanır. Örneğin üç kartlı örneğimizde “iki, üç, dört” dizilimini üretmek için şöyle bir komut gerekir: “en küçükten en büyüğe diz”. Oysa “dört, iki, üç” dizilimininki şöyle bir şey olabilir: “en büyüğü koy, sonra küçükten büyüğe diz”. Gerçi teker teker söylesek daha zor olmazdı: “önce dördü, sonra ikiyi, sonra üçü koy”. Her iki komutun da algoritmik rassallığı, ilk örneğinkinden birazcık daha fazladır. Bu yüzden “dört, iki, üç” diziliminin entropisi, “iki, üç, dört”ten birazcık daha yüksektir.

52 kartlık tam desteyi düşünersek durum daha netlik kazanır. Sıralı bir deste oluşturması için bilgisayara vereceğimiz komut oldukça basit sayılır: “Kupalardan başlayarak, as en büyük olacak şekilde kartları küçükten büyüğe diz. Ardından işlemi karolar, sinekler ve maçalar için tekrarla.” Peki benim gelişigüzel karılmış özel dizilimim için nasıl bir komut vereceğiz? Hiçbir kısa yol olmadığından her kart için teker teker komut vermeliyiz: “Maça papazından başla, sonra karo ikiyi koy, sonra kupa yediyi koy [vs]”. Eğer deste maksimum düzensizlikte değilse

Şekil 4.4. Rassallık olarak entropi



Soldaki beş kağıt, sağdakilere göre daha düşük-entropili olacak şekilde düzenlenmiş, fakat bunun nedeni daha “özel” olmaları değil, dizilişlerini tanımlamak için daha az bilginin yeterli olması.

arada bir kısa dizilere rastlayabilir ve komutlardan biraz tasarruf edebiliriz –örneğin maça 2, 3, 4, 5, 6 sırası bozulmamışsa, bilgisayara teker teker girmektense, “maça ikiden başla ve sonraki dört kartı aynı renkte küçükten büyüğe diz” komutunu verebiliriz. Bilgisayar programlarının uzunluğu size pek bir şey ifade etmiyorsa, algoritmik rassallığı başka türlü de tanımlayabiliriz. Beyinlerimiz de tıpkı Maxwell’in cini gibi, en temel anlamıyla, komutları işleyen bilgisayarlardan başka bir şey olmadığına göre, bilgisayar algoritması kavramını atıp yerine ezber becerisini koyabiliriz. Size gelişigüzel karılmış bir iskambil destesi versem ve renklerine ve sayılarına göre dizmenizi söylesem, bu komut çok özel ve basit olduğundan kolayca yerine getirebilirsiniz. (Dikkat edin, burada kartları kararak şans eseri dizmekten değil, kartların ön yüzlerine bakıp sıraya dizmekten bahsediyoruz.) Ama size aynı kartları verip de benim gelişigüzel kararak elde ettiğim “özel” dizilimime göre dizmenizi söylesem, büyük olasılıkla hepsinin sırasını teker teker aklınızda tutamaz ve benim desteme tekrar tekrar bakmak zorunda kalırsınız. Yani kartları dizmek için ilkinde oranla çok daha fazla bilgiye

ihtiyacınız olur. Bir sistemle ilgili ne kadar çok bilginiz varsa, düzenlemeniz ve entropisini düşürmeniz o kadar mümkün olur.

Devridaim makineleri

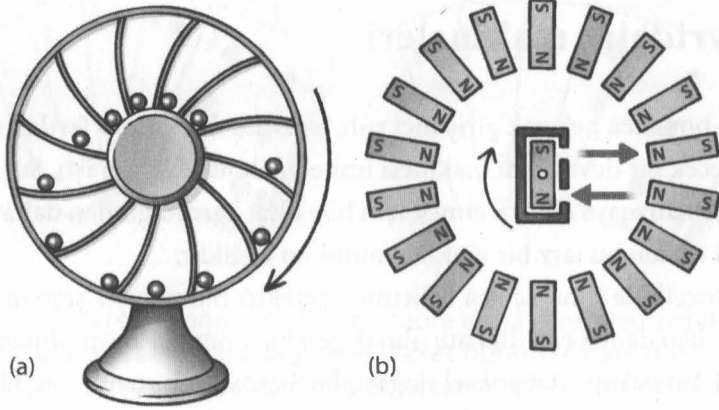
Tarih boyunca pek çok girişimci ruh, sonsuza dek çalışıp faydalı iş yapabilecek bir devridaim makinesi icat edebilmek için uğraştı. Sırf kendini çalıştırmaya devam etmek için bile olsa, harcadığından daha fazla enerji üreten bu tarz bir makine mümkün değildir.

Öncelikle şunu açıkça belirtmek gerekir: Bilimde bir şeye imkânsız derken daima çok dikkatli olmak gerekir. Sonuçta Termodinamiğin İkinci Yasası'nın istatistiksel doğası, bir bardak ılık suyun kendiliğinden buza dönüşmesinin tamamen imkânsız olmadığını öğretti bize. Gelgelelim, bu o kadar ama o kadar küçük bir olasılıktır ki, olması için Evren'in yaşından daha uzun süre beklememiz gerekir –dolayısıyla yok sayabiliriz. Genellikle bir şeye imkânsız derken “doğanın işleyişine dair şu anki anlayışımız ve fizik kurallarına dair şu anki kabullerle” imkânsız olduğunu kastederiz. Yanılıyor olmamız elbette mümkündür; zaten bazı mucitlerin her seferinde gittikçe daha akıllara zarar devridaim makineleri icat etmeye çalışmaları da gücünü bu umut zerresinden alır.

Bu tür makineleri iki ana gruba ayırabiliriz. Birinci tip devridaim makineleri, hiç enerji almadan çalıştıkları için Termodinamiğin Birinci Yasası'nı çiğnerler. Termodinamiğin Birinci Yasası enerjinin korunumu ilkesini açıklar. Buna göre herhangi bir kapalı sistemde yeni enerji üretemezsiniz. Hiç yoktan enerji ürettiğini iddia eden makinelerin hepsi bu türe girer.

İkinci tip devridaim makinesi Birinci Yasa'yı çiğnemez ama ısı enerjisini entropinin azalmasına neden olacak şekilde mekanik enerjiye dönüştürdüğü için İkinci Yasa'yı çiğner. Buradaki ince nokta şu: bu ısı kullanılıp entropi düşürülürken başka bir yerde entropinin yükselmesi gerekir ki sistem dengelensin. Ama ikinci tip devridaim ma-

Şekil 4.5. İki basit devridaim makinesi



(a) *"Dengesiz teker"**. Bu devridaim makinesinin fikri sekizinci yüzyıl Hindistan'ına kadar geçmişe gidiyor. Özenle hazırlanmış pek çok türü olsa da hepsi aynı ilkeye dayanıyor, ve hepsi aynı nedenden başarısız oluyor. Buradaki versiyonunda sağ taraftaki toplar (çeyrek geçeyle yarım arasındakiler) dışa doğru yuvarlanarak, merkezden uzaklıkları sayesinde ortadakilere oranla daha büyük torka (döndürme kuvvetine) sahip oluyorlar. Bu durumda soldaki toplara oranla döndürme etkileri daha fazla olacak ve tekeri bir kez hareket ettikten sonra saat yönünde sürekli döndürecekler gibi gözüküyor. Uygulamada ise sol tarafta sağdakine oranla her zaman daha çok top oluyor ve bu toplar dönüşü durdurma yönünde kuvvet uyguluyorlar. Teker bir süre sonra kaçınılmaz olarak duruyor.

(b) *Manyetik motor*. Burada ortadaki mıknatıs, dışta çember şeklinde dizilmiş mıknatıslardan yalıtılmış durumda. Yalnızca iki delikten kuzey ve güney kutupları dıştaki mıknatısların manyetik alanını hissediyor. İçteki mıknatısın üst tarafındaki güney kutbu dıştaki mıknatısların kuzey kutbu tarafından çekilirken, kuzey kutbu itiliyor. Her ikisi de içteki mıknatısı saat yönünde döndürecek şekilde etki ediyor; hem de sonsuza dek. Buradaki hata manyetik alanların nasıl çalıştığını anlamamaktan kaynaklanıyor. Çemberin içinde manyetik alan olmaz aslında; simetriden dolayı kendini sıfırlar; içteki mıknatısa hiçbir döndürme kuvveti hissetmez.

* İng: Overbalanced wheel

kinesi ısıyı, başka yerde entropiyi yükseltmeden kullanır. Daha önce İkinci Yasa için yaptığımız tariflerden biri, “ısı sıcak yerden soğuk yere akar” şeklindeydi. Isının akışı sırasında entropi yükselir, ancak bu süreçten faydalı iş elde etmek ve başka bir yerin entropisini düşürmek mümkündür (tabii düşen entropinin artan entropiden fazla olmaması koşuluyla). Daha soğuk bir yere ısı akışı olmaksızın sıcak bir cisimden enerji alabilen bir makine –örneğin Maxwell’in Cini düzeneği– bu tür bir devridaim makinesi denemesidir.

Enerjisini hava basıncı, nem, veya okyanus akıntısı gibi belirsiz ve hemen göze çarpmayan bir dış kaynaktan alarak termodinamiğin her iki yasasına da uyan pek çok alet var elbette. Fizik kurallarını ihlal etmediklerinden dolayı bunlara devridaim makinesi diyemeyiz. Tek yapmamız gereken onları çalıştıran güç kaynaklarının ne olduğunu bulmaktır.

Dönen tekerler veya sallanan sarkaçlar içeren bazı aletler, ilk başta sanki hiç güç kaynağı olmadan sonsuza dek çalışacakmış gibi gözükür. Ama yanılmamak gerekir. Hareketlerini başlatan ilk enerjiyi sızdırmama konusunda çok verimlidirler o kadar. Aslında hepsi er geç yavaşlamaya mahkumdur, ne de olsa hiçbir makine yüzde yüz verimli olamaz; ne kadar yağlanırlarsa yağlansınlar, ya hava sürtünmesi, ya da hareketli parçaların birbiriyle sürtünmesi sonucu enerjilerini kaybetmeleri kaçınılmazdır.

Demek ki kuramsal açıdan, çevreye hiç enerji kaybı olmasaydı devridaim makinesi yapmak mümkün olurdu. Doğal olarak, böyle bir aletten enerji almaya çalışırsak yine yavaşlar ve durur.

Maxwell'in cini ve kuantum mekaniği

Szilárd'ın makalesi de Maxwell'in cini tartışmasına son noktayı koymadı. Günümüzde fizikçiler kuantum dünyasına ve onun atomik boyuttaki garip kurallarına dek cini takip etmeyi sürdürdüler. Kuantum mekaniğinde, tek tek moleküllerin yerlerini ve hızlarını ölçmekten

bahsettiğimiz zaman, edinebileceğimiz bilgi miktarıyla ilgili temel bir sorunla karşılaşyoruz. “Heisenberg Belirsizlik İlkesi” denilen bu ilkeye göre, bir parçacığın (veya hava molekülünün) hem nerede olduğunu, hem de tam ne hızla ilerlediğini *aynı anda* asla bilemeyiz; bu iki tür belirsizlikten biri mutlaka olur. Üstelik bazılarının iddiasına göre, Termodinamiğin İkinci Yasası’nı güvence altında tutan şey de bu belirsizliktir.

Devridaim makinesi hayalinin peşini bırakmayanların son umut kalesi kuantum dünyası gibi gözüküyor. Birkaç yıldır, “boşluk enerjisi”, ya da “sıfır noktası enerjisi” diye adlandırılan şeyi kullanarak böyle bir şeyin mümkün olabileceği ortaya atılıyor. Kuantum dünyasındaki belirsizlikten dolayı, hiçbir şeyin gerçek anlamda duruyor olduğu söyleyemeyiz, ayrıca her molekül, atom veya atomaltı parçacığın, mutlak sıfır noktasına kadar soğutulsa bile, minimum bir miktar enerjisi hep olur. Buna “sıfır noktası enerjisi” denir. Bu kural, içinde hiç madde olmayan boşluk için bile geçerlidir: kuantum fiziğine göre bütün Evren bu “boşluk enerjisi”yle doludur. Pek çokları bundan bir şekilde yararlanıp kullanmamız gerektiğini düşünüyor. Ne var ki bu tür yaklaşımlar, daha önce hava molekülleriyle dolu odacıklarda karşılaştığımız sorunlarla başa çıkmak zorunda. Boşluk enerjisi düzgün dağılmıştır, bu yüzden bu enerjiyi elde ederek faydalı iş yapma yöntemlerinin hepsi, elde edebileceğimiz enerjiden daha fazlasını kullanmak zorundadır. Tıpkı dışarıdan yardım almadan iki odacık arasında sıcaklık farkı oluşturulmaması gibi, eşit olarak dağılmış boşluk enerjisi bedava elde edilemez.

Bu yardım, Maxwell’in cininde olduğu gibi bilgi şeklinde de olabilir. Fakat yine de bu bilgiye sahip olabilmek için önce enerji vermemiz gerekir. Bu enerjinin bedeliyse, başka bir yerin entropisini artırmaktır.

Termodinamiğin İkinci Yasası’nın üstesinden asla gelemeyiz. Bunu aklınızdan çıkarmayın. Ah, neredeyse unuttuyordum: Bölümün başında termodinamiğin *dört* yasası olduğunu söylemiştim, ama diğer iki yasayı söylemedim. Biraz beklettim, kusura bakmayın: Termodinamiğin Üçüncü Yasası, kusursuz bir kristalin sıcaklığı mutlak sıfır noktasındayken, entropisinin de sıfır olacağını söyler. Dördüncü yasaya ge-

lirsek, tek kayda değer yönü, diğer yasalara çok sonradan eklenmiş olmasına rağmen daha basit ve temel olmasından ötürü, Dördüncü Yasa diye değil, Sıfırıncı Yasa diye bilinmesidir. Bu yasaya göre eğer iki cisim üçüncü bir cisimle termodinamik dengedeyse (“aynı sıcaklıktaysa” denenin bilimsel raconu), o zaman birbirleriyle de termodinamik dengededirler. Akıllara durgunluk veren bir gerçek olduğunu söylemek zor. Daha önemli olan diğer yasalar bir, iki ve üç olarak akıllara yerleştiği için sıralanışlarını değiştirmek uygun bulunmamış, bu yüzden bu son yasaya “sıfırıncı” yasa denmiştir. Aksi taktirde bayağı bir karışıklık çıkardı ki kimse bunu istemez.

BEŞ

Ahırdaki Sırık Paradoksu

*Bir ipin uzunluğu ne kadardır? Ne kadar
hızlı gittiğine bağlı . . .*

EINSTEIN'IN GÖRELİLİK kuramını anlatan ders kitaplarında, kuramın uzay ve zamanın doğasına dair öngörülerinin bazı garip yönlerini vurgulamak için kullanılan ünlü örneklerden biri olduğundan dolayı, bu paradoksu fizik öğrencileri iyi bilirler, ama onun dışında duymuş olmanız zor. Ama aslında o kadar harika bir paradoks ki, yalnızca fizikçilere bırakmak haksızlık olur. Ben de şimdi sizinle paylaşmaktan büyük zevk duyacağım. Yalnız sizi şimdiden uyarıyorum: önce gerekli fizik ön bilgisi olmadan ifade edilip, sonra da birazcık görelilik kuramıyla işin içinden çıkabileceğimiz türdeki paradokslardan değil bu. Bırakın çözümlemeyi, düzgün bir şekilde ifade edebilmek için bile önce biraz işin fiziğine girmemiz gerekiyor bu sefer.

Yine de, madem ki kitabın başında sizi neyin beklediği hakkında fikir sahibi olasınız diye her paradoksu önce kaba hatlarıyla ortaya koyacağıma söz verdim, işte koyuyorum. Ayrıca lütfen şüpheli yanınıza mukayyet olun, çünkü Einstein'ın dünyasına balıklama daldığımızda çok ihtiyacınız olacak.

Bir sırıkla atlamacı, sıırığını yere paralel tutarak bir ahıra doğru çok hızlı koşuyor –soru icabı, ışık hızına yakın koşabildiğini varsayacağız! Ahırın boyu tam sıırığının boyu kadar. Koşuya başlamadan önce sıırığıyla ahırın duvarını ölçtüğünden bunu iyi biliyor. Ahırın ön ve arka kapıları açık olduğundan hiç hızını kesmeden ahırın içinden geçiyor. Öyle bir an gelir ki, sıırığın arka ucu tam içeri girmiş ve ön ucu tam çıkmak üzere olur diye düşünürüz. Tabii eğer görelilik kuramından haberdar değilssek.

Eğer atlamacı insani hızlarda koşuyor olsaydı bu doğru olurdu, ancak ışık hızına yakın koştuğu için Einstein'ın görelilik kuramının öngördüğü şekilde bazı ilginç ve harika fiziksel etkiler kendini göstermeye başlar. Bunların arasından, tartışmamız için can alıcı öneme sahip olanı şu: hızlı giden bir cisim, durduğu haline göre daha kısa gözüktür. Şu anda belki içinizden “bunu kabul edebilirim” diyorsunuz, “sonuçta o kadar hızlı gidiyor ki önünün nerede olduğunu belirleyene kadar arkası ilerlemiş oluyor, bunun etkisiyle daha kısalmış gibi gözüküyor.” Ama alakası yok. Keşke bu kadar basit olsaydı.

Boyu tam 1 metre olan bir füzeyi ışığa yakın bir hızla, bir ölçüm şeridi boyunca dümdüz gidecek şekilde fırlatıp, sonra da uçuş sırasında fotoğrafını çekerseniz, boyunun 1 metreden daha kısa olduğunu görürsünüz. Ne kadar daha kısa olacağı hızına bağlıdır: ışık hızına ne kadar yakınsa, boyu da o kadar kısalmır. İleride buna daha ayrıntılı bakacağız, ama şimdi ahıra dönelim.

Tekrarlamak gerekirse, görelilik kuramı bize, eğer ahırın içinde durup içeriden geçip giden atlamacıyı seyredersek, elindeki sıırığı ahırdan daha kısa göreceğimizi söylüyor. Sıırığın arkası tamamen içeri girdikten ancak bir süre sonra önü diğer taraftan çıkar; hatta sıırığın tamamının içeride olduğu kısa bir zaman aralığı olur.

Her ne kadar tuhaf bir durum olsa da, henüz ortada bir paradoks yok, çünkü görelilik kuramının adından da anlayabileceğimiz üzere, *her hareket görecedir*. Bu fikir Einstein'dan çok daha eski ve garip bir yanı yok aslında. Bir trende oturuyorsunuz ve yanınızdan trenin gidiş yönünde yürüyen bir yolcu geçiyor. Her ikiniz de trenin içinde oldu-

ğunuz için, trenin gidiyor veya duruyor olması yolcunun yanınızdan geçiş hızını etkilemez. Fakat o sırada tren bir istasyondan geçiyor ve istasyonda duran birisi, yolcuyu trenin içinde yürürken görüyor. Ona göre yolcu, yürüyüş hızıyla trenin hızının bileşkesi hızında yürür. Bu noktada, yolcu aslında hangi hızda ilerliyor diye sorulabilir. Sizin gördüğünüz hızda mı, yoksa istasyonda duran kişinin gördüğü hızda mı?

Burada cevabın gözlemciye bağlı olmasını garipsemeyiz. Hız mutlak değildir, ölçüm yapan kişinin hareketine bağlıdır. Benzer şekilde, trende otururken trenin sabit, istasyonunsa ters yönde gidiyor olduğunu ileri sürebiliriz. Fazla ileri gittiğimizi düşünebilirsiniz, ne de olsa *gerçekten* hareket eden şeyin tren olduğunu söylemek daha doğru olsa gerek. Ama şunu düşünün: ya tren saatte 1700 kilometre hızla (pek gerçekçi olmadığının farkındayım) doğudan batıya doğru gitseydi? Uzaydan baktığınızı hayal edin, ne görürdünüz? Dünya'nın, trenin tersi yönde saatte 1700 kilometre hızla döndüğünü görürdünüz. (Dünya'nın kendi çevresinde günde bir tur atarkenki yaklaşık hızı budur.) Uzaydan bakıyorsanız, Dünya dönerken trenin aynı hızla ters yöne doğru gidecek, koşu bandında koşan biri gibi, aynı yerde durduğunu görürsünüz. O sırada size "Hangisi hareket ediyor? Tren mi yoksa gezegen mi?" diye sorsalar ne derdiniz? Demek ki her hareket görecedir.

Buraya kadar ikna oldunuz sanıyorum. Ahırdaki sırığa geri dönebiliriz. Sırıkla atlamacının gözünden baktığımızda, adımlarını gerçeküstü bir hızda atıyor olsa da, kendini ve sırığını sabit olarak, ahırıysa kendine doğru ışığa yakın bir hızla yaklaşıyor görür. Görelilik kuramının buradaki yorumu çok açık: atlamacıya göre, ahır hareket ettiği için boyu kısalır, hatta sıırıktan çok daha kısa olur. Dolayısıyla onun gözünden, sıırığın arka ucu içeri girdiğinde, ön ucu çoktan dışarı çıkmış olur. Hatta öyle bir an olur ki, sıırık ahırın her iki kapısından da dışarı taşar.

Paradoks burada ortaya çıkıyor: ahırda durana göre sıırık ahırdan daha kısa; kuramsal olarak bir anlığına da olsa sıırığın tamamı ahırın içindeyken iki kapıyı da kapatabiliriz. Ancak atlamacıya göre sıırık ahırdan daha uzun –içine sığması mümkün değil. Her ikisi birden hak-

lı olacak değil ya? Gelgelelim, sorunun doğru yanıtı, *her ikisinin birden haklı olduğu*. Ahırdaki Sırık Paradoksu bu işte. Bölümün geri kalanında sadece bunu çözümlemekle kalmayacak, görelilik kuramının bizi niye en baştan böyle garip bir ikileme maruz bıraktığını da açıklayacağız.

Bu paradoksu çözebilmek için Einstein'ın görelilik kuramını enine boyuna incelememiz gerekiyor. Onun yüzyıl önce gittiği yolu takip edecek ve bir mantık taşından bir diğerine atlaya atlaya sonunda hedefimize ulaşacağız.

Size karşı dürüst olacağım. Göreliliğin temellerini öğretmek için cebirsel hesaplara girmek veya teknik grafikler çizmek niyetinde değilim. Ultra-yüksek hızlarda uzunlukların kısalması konusunda bana güveneceğinizi umarak doğrudan paradoksun çözümüne atlayabilirim. Ama belki de uyduruyorumdur, ne malum? Dolayısıyla burada bir seçim yapmanız gerekiyor: birincisi, eğer (a) Özel Görelilik Kuramıyla ilgili bir şeyler biliyorsanız veya (b) Albert Einstein öyle diyorsa doğrudur diyorsanız, doğrudan bölümün sonunda paradoksu açıkladığım yere atlayabilirsiniz; ya da izin verin, bizi hedefimize götürecek argümanları dikkatli ve sakince anlatmaya çalışayım. İkinci seçeneği seçerseniz uzun vadede buna değecektir, çünkü sonraki iki bölümde uzayın değil de zamanın doğasını ilgilendiren paradokslara bakarken buradaki açıklamalarımızdan yola çıkacağız. Ayrıca söz veriyorum, sizi sıkmadan, hatta becerebilirimse eğlenceli bir şekilde anlatmaya çalışacağım. Ne de olsa özel görelilik, fiziğin en güzel kuramlarından birisi.

Işığın doğası üzerine bir ders

19. yüzyılın sonlarına gelindiğinde, ışığın dalga gibi davrandığı biliniyordu –ışık tıpkı ses gibi bir dalgaydı; sadece çok daha hızlı o kadar. Konunun devamını anlayabilmek için dalgaların iki özelliğini bilmemiz gerekiyor. Dalgaların ilk önemli özelliği, içlerinde ilerleyebilecekleri bir ortama ihtiyaç duymalarıdır; ortamda “dalgalanmayı” veya titreşmeyi yapacak bir “malzeme” gerekir. Sesin nasıl ilerlediğini düşünün: yanınızda duran bi-

rine seslendiğinizde, ağzınızdan çıkan ses dalgaları hava yoluyla o kişinin kulaklarına ulaşır. Ses enerjisini ona ulaştıran şey, titreşen hava molekülleridir. Benzer şekilde deniz dalgaları suya, ani el hareketimizle ipi oynattığımızda ip boyunca ilerleyen çıkıntı ise ipe ihtiyaç duyar.

Dalganın içinde ilerleyebileceği bir ortam olmazsa dalga da olmaz. Bu yüzden 19. yüzyıl fizikçilerinin, elektromanyetik dalga olarak tanımlanmış olan ışığın da ilerleyebilmesi için belli bir ortam gerektiği konusunda hemfikir olmalarını anlayabiliyoruz. Fakat böyle bir ortamı kimse görmemiş olduğundan, bunu saptayabilecek bir deney bulmaları gerekiyordu. Varlığını kanıtlamak için büyük çabalara giriştikleri bu ortama “ışık-taşıyan esir”^{*} adını verdiler. Bu ortamın aynı zamanda bütün Evren’e yayılmış olması gerekiyordu, başka türlü uzak yıldızların ışığı uzay boşluğunu geçip bize ulaşamazdı.

1887’de, Ohio’da bir üniversitede iki Amerikalı fizikçi, Albert Michelson ve Edward Morley, bilim tarihindeki en ünlü deneylerden birini gerçekleştirdiler. Bir ışık ışınının belirli bir mesafeyi kat ettiği zamanı son derece hassas ölçebilen bir yöntem geliştirmişlerdi. Ancak buna değinmeden önce, dalgaların bilmemiz gereken bir özelliği daha var: dalgaların hızı, kaynağın hızına bağlı değildir.

Yaklaşan bir arabanın gürültüsünü düşünün. Ses dalgaları arabadan daha hızlı gittiği için, araba daha yanınıza gelmeden ses dalgaları kulağınıza gelir. Ses dalgalarının hızıysa havadaki moleküllerin titreşerek sesi iletme hızına bağlıdır. Araba gidiyor diye dalgalar size daha hızlı gelmezler, çünkü sonuçta araba ses dalgalarını “ittiremez”. Yalnız şöyle bir şey olur: araba yaklaştıkça, dalgalar arabayla sizin aranızdaki gittikçe azalan mesafeye sıkışır. Böylece dalgaboyları küçülür ve frekansları artar. Doppler etkisi denen bu olguya günlük hayattan aşinayız. Ambulansın siren sesini bize yaklaşıırken başka, uzaklaşıırken başka perdeden duyarız. Aynı şekilde yarış arabaları yanımızdan geçerken motorlarından gelen sesler perde değiştirerek kalınlaşır. Dolayısıyla sesin *frekansı*, kaynağın hızına ve yaklaşıyor mu uzaklaşıyor mu olduğuna bağlıdır; ama sesin hızı (veya bize ulaşması için gereken zaman) *değişmez*.

* İng: luminiferous ether

Ne var ki olaya arabanın şoförünün gözünden baktığımızda durum tamamen farklı bir hal alır. Şoföre göre motorun sesi arabadan uzağa doğru her yöne eşit hızla dağılmaktadır. Bu yüzden, arabanın gittiği yönde giden ses dalgaları, yanlara doğru giden ses dalgalarından *daha yavaştır*. Çünkü şoföre göre, arabanın ilerisine doğru giden ses dalgalarının hızı, havadaki dalgaların hızıyla arabanın hızının farkı kadardır.

Michelson ve Morley aynı ilkeyi ışık dalgalarına uyguladılar. Dâhiyane bir deney bulmuşlardı. Bu deney sayesinde ışık-taşıyan esirin varlığını saptayabilen ilk biliminsanları olacaktılar. Dünya Güneş'in çevresinde saatte yaklaşık 100.000 kilometre hızla turlarken, bu esirin içinden geçtiğini varsaydılar. Laboratuvar deneylerinde, ışık ışınlarının aynı mesafeyi iki farklı yoldan gidiş zamanlarını müthiş bir hassasiyetle ölçtüler. Bu yollardan biri, Dünya'nın Güneş çevresinde turlarken gittiği yön, diğeryse buna dik, yana doğru olan yöndü. Dünya üzerindeki laboratuvarlarında oturmuş ışığın hızını gözlemlerken, ses dalgalarının öne ve yana gidiş hızlarını farklı algılayan şoförün durumundaydılar.

Eğer esir varsa, diye düşünmüştü Michelson ve Morley, o zaman Dünya onun içinden serbestçe geçiyor olmalı, bu yüzden farklı yönlerde giden ışık, aynı mesafeyi farklı sürelerde katedecektir; çünkü hareket halindeki Dünya'ya göre iki farklı yöndeki hızları farklı olacaktır. Işık hızı saniyede 300.000 kilometre, bir başka deyişle Dünya'nın yörüngesinde turlama hızından on bin kat fazla bile olsa, girişimölçer adı verilen ölçüm aletleri o kadar hassastı ki, dalgaların birleşme noktasındaki girişim şekline bakarak iki ışık ışını arasındaki en ufak bir zaman farkını bile seçebiliyordu.

Fakat aletin ölçümlerinde en ufak bir zaman farkı gözüküyordu.

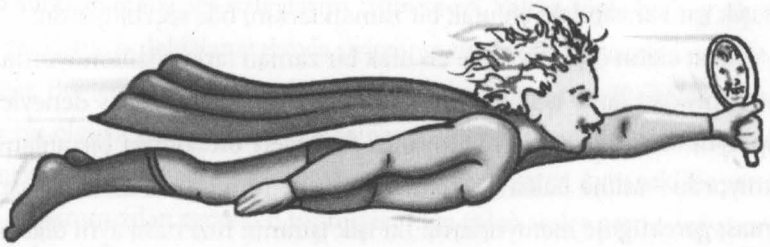
Sonradan lazer ışınlarıyla defalarca yapılan daha hassas deneyler de hep aynı sonucu verdiler. Dünyanın fizikçileri bu sonuca bir anlam veremiyordu –aslına bakarsanız Michelson ve Morley'nin bir hata yapmış olması gerektiğine inanıyorlardı. İki ışık ışınının hızı nasıl aynı olabilirdi? “Her hareket görecedir” ilkesine ne olmuştu?

Tüm bunların biraz kafa karıştırıcı geldiğinin farkındayım, o yüzden olabildiğince dolaysız bir örnekle açıklamaya çalışayım. Trenin içinde yü-

rüyen yolcuyu hatırladınız değil mi? Michelson-Morley'nin sonucu, trenin içinde oturan ve dışarıda istasyondan bakan kişinin, yürüyen yolcunun hızında hemfikir olması anlamına geliyor! Çok saçma değil mi? Oysa daha önce açıkladığımız gibi, size göre yolcu yürüme hızında ilerliyor, istasyon-daki kişiye göreyse trenin hızı artı yürüme hızında ilerliyor.

Michelson ve Morley bu huzur bozucu bulguya ulaşmadan sekiz yıl önce, Almanya'nın Ulm şehrinde Albert Einstein dünyaya geldi. Aynı yıl, yani 1879'da, Washington Amerikan Donanma Gözlemevi'nde çalışan Albert Michelson, ışığın hızını onbinde bir hata payıyla ölçmeyi başarmıştı. Sonradan Morley ile birlikte ünlü deneylerini yaparken bu ölçüm çok işine yarayacaktı. Genç Einstein ise, her ne kadar Michelson ve Morley'nin dünyaya ilan ettiği çarpıcı sonuçtan elbette habersiz olsa da, kısa bir süre sonra zihninde hayali deneyler tasarlayarak ışığın olağandışı özellikleri üzerine kafa yormaya başladı. Kendi kendine sorular soruyordu. Işık hızında giderken önüne bir ayna tutsa yine kendi yansımasını görür müydü? Çünkü eğer ayna ışık hızında uzaklaşıyorsa, yüzünden çıkan ışık aynaya nasıl ulaşırdı? 1905'te henüz yirmili yaşlarının ortasındaiken, bu düşünce egzersizleri doruk noktasına ulaştığında Özel Görelilik Kuramını yayınladı. Michelson ve Morley'nin sonuçları bir anda güzelce anlaşılır oluverdi.

Şekil 5.1. Einstein'ın erken dönem araştırmaları



Einstein ışık hızında giderken kendi yansımasını yine görebilir mi?

Einstein kuramını yayınlayana dek bazı fizikçiler Michelson ve Morley'nin sonuçlarını reddetmiş, bazılarıysa fizik yasalarını buna uyacak şekilde değiştirmeye çalışmış ama başaramamışlardı. Deneyin sonuçlarını, ışığın parçacık gibi davrandığını savunarak açıklamaya çalıştılar; ne var ki deney özellikle ışığın dalga özelliğini ortaya koymak adına, kesin varış zamanlarını ölçmek için iki ışının girişim desenini kullanacak şekilde tasarlanmıştı. Öyle ya da böyle, eğer ışık taneciklerden oluşuyorsa yine esire gerek yok demektir, çünkü parçacıklar hareket etmek için ışık-taşıyan esire gerek duymaz, boşlukta gidebilirler.

1905 yılında her şey değişti. Einstein'ın bütün kuramı iki fikre dayanıyordu, günümüzde bunlara göreliliğin iki postülatı denir. İlkinin zaten söyledik: Her hareket görecedir ve hiçbir şey gerçek anlamıyla sabit değildir. Bu bize, gerçekten duruyor muyuz yoksa hareket halinde miyiz söyleyebilecek bir deneyin olamayacağını bildiriyor. Kulağa başta gayet masum gelse de, asıl devrim niteliğinde olan ikinci postülatı. Einstein, ışığın hızının –tıpkı hareket halindeki arabanın ses dalgaları gibi– kaynağının hızından bağımsız olduğunu, bu açıdan dalga özelliği gösterdiğini söylüyordu. Fakat aynı zamanda ses dalgalarından farklı olarak, ışığın içinde ilerleyeceği bir ortama ihtiyaç duymadığını, ışıkgeçirgen esirin varolmadığını ve ışık dalgalarının boşlukta gidebildiğini söylüyordu.

Buraya kadar her şey güzel, henüz bir paradoks yok. Ayrıca yukarıdaki zararsız postülatlara bakıp, başımıza ciddi bir dert açacak gibi durmuyorlar diye düşünebilirsiniz. Uzay ve zamana devrimsel bir bakış açısı getiriyormuş gibi durmadıkları kesin. Ama getiriyorlar. Her iki postülat da tek başına gayet masum. Einstein'ın fikirlerinin ne kadar derin olduğunu ancak ikisi bir araya geldiğinde anlıyoruz.

Üstünden geçecek olursak, ışığın hızı, kaynağın hızından bağımsız olarak hep aynıdır. Bu zaten diğer dalgalar için de, örneğin ses dalgaları için de geçerli, dolayısıyla burada bir sorun yok. Gelgelelim, ışığın içinde gittiği bir ortam olmadığına göre, dolayısıyla hızını bağıl olarak ölçebileceğimiz bir şey olmadığına göre, o zaman Evren'de kimsenin

ayrıcalıklı bir yeri yoktur ve hızımız ne yöne ve ne kadar olursa olsun, herkesin ışığın hızını aynı ölçmesi gerekir (saatte yaklaşık 1 milyar kilometre). Bu noktada işler iyice garipleşiyor, o yüzden bunun ne demek olduğunu açıklayalım.

Uzayda birbirlerine doğru yüksek hızlarla yaklaşan iki uzaygemisi hayal edin. Uzaygemilerinin motorları kapatılır ve sabit hızla “süzülmeye” bırakılırlarsa, içlerindeki insanlar iki uzaygemisi birbirine doğru hareket mi ediyor, yoksa biri duruyor da öbürü mü yaklaşıyor bilemezler. Aslına bakarsanız, hareket etmek veya sabit durmak diye bir şey yoktur, çünkü hareket ancak başka bir şeye göre tanımlanabilir. Yakındaki bir gezegeni veya yıldızı referans noktası almak da işe yaramaz, sonuçta bunların sabit olduğunu kim söyleyebilir ki?

Uzaygemisinin içindeki astronotlardan biri diğer uzaygemisine doğru ışık tutuyor ve ışığın uzaygemisinden çıkarkenki hızını ölçüyor. Kendisinin sabit, diğer uzaygemisinin gelmekte olduğunu iddia etmesinde bir sakınca olmadığına göre, ışığın normal hızla, yani saatte bir milyar kilometre hızla kendisinden uzaklaştığını söyleyebilir. Tabii diğer uzaygemisindeki astronot da sabit olduğunu iddia etme hakkına sahip. O da kendisine doğru gelen ışığın hızını saatte bir milyar kilometre olarak ölçüyor ve bunun şaşırtıcı bir yanı olmadığını, çünkü zaten ışığın hızının kaynağın hızına bağlı olmadığını belirtiyor. Gerçek hayatta da tam olarak böyle olduğunu biliyoruz. Paradoksal bir şekilde, her ikisi de ışığın hızını aynı ölçüyor.

Bu sezgilerimize tamamen aykırı, inanılmaz bir şey. Astronotlar ışık hızına yakın birbirlerine doğru yaklaşıyor olmalarına rağmen, her ikisi de ışığın hızını aynı ölçüyor!

Devam etmeden önce, Einstein'ın ayna sorusunu yanıtlayabiliriz. Ne kadar hızlı gittiğinin hiçbir önemi yok, aynada kendi yansımasını her zaman görür. Çünkü yüzünden aynaya, oradan tekrar yüzüne gelen ışığı, kendi hızından bağımsız olarak hep aynı hızla gidiyor olarak görür –hiç kıpırdamıyor olsaydı nasıl görürse aynen öyle. Sonuçta o kadar hızlı gittiğini kim söylüyor ki? Her hareket görecedir dememiş miydik?

Tüm bu saptamaların bir bedeli olarak, uzay ve zamanın doğasına dair görüşlerimizi baştan aşağı gözden geçirmek zorundayız. Hangi hızda olduklarına bakmaksızın tüm gözlemcilere göre ışığın aynı hızda olması, ancak *mesafeleri ve zamanları farklı ölçmeleri halinde* mümkündür.

Büzülen uzaklıklar

Siz bunun sonradan belki de yanlış olduğu ortaya çıkacak tartışmalı bir “teori” olduğu yönünde şikayetinize başlamadan önce, yüz yıldır incelendiğini ve sınındığını, etkilerininse sürekli görüldüğünü vurgulamak isterim. Hatta doğruluğuna ben de bizzat kefilim; ne de olsa, kozmik ışınların ürettiği “müon” adı verilen atomaltı parçacığı içeren laboratuvar deneyini üniversitedeyken çoğu fizik öğrencisi gibi ben de yaptım. Kozmik ışınlar, atmosferin üst bölümünü sürekli bombardıman altında tutan, uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklardır. Müonlar ise, kozmik ışınların hava molekülleriyle çarpışması sonucu oluşur ve Dünya’ya akarlar. Öğrenciyken yaptığımız laboratuvar deneyinde, bu parçacıkları özel bir dedektörle yakalayıp saymıştık. Müonların, genelde iki mikrosaniye* civarında olduğu bilinen ömürlerini büyük bir dikkatle ölçmüştük.

Müonlar o kadar enerjiktir ki, Dünya’ya doğru ışık hızının %99’u hızla yaklaşırlar. Ancak bu hızda bile Dünya’nın yüzeyine kadar olan mesafeyi kat etmeleri için ömürlerinin birkaç katı zaman gerekir. Bu yüzden bizim sadece, bu yolculuğu tamamlayabilecek kadar olağandışı uzun ömürlü olanları saptayabiliyor olmamız gerekir. Fakat deneyi yaparken, neredeyse tüm müonların yokolmadan önce rahatça Dünya’ya ulaşip dedektörümüzü harekete geçirdiğini gördük. Belki de hızlı giden müonlar bilinmeyen bir nedenden dolayı sabit olanlara göre daha uzun yaşıyorlardır diye düşünebilirsiniz. Ancak Einstein size bu açıklamanın geçersiz olduğunu söyleyecektir; her hareket görece olduğuna göre müonun hareket edip etmemesi kimin baktığına göre değişir.

* mikrosaniye: Saniyenin binde biri. (ç.n.)

Artık ışın gerçeğini öğrenme zamanı geldi. Olaylara müonun gözünden bakmaya çalışalım. Eğer konuşabilseydi, gerçekten de ışık hızının %99'u bir hızda ilerlediğini söylerdi –ya da daha ziyade, yerin kendisine doğru ışık hızının %99'u bir hızda yaklaştığını. Ayrıca bu mesafeyi kat etmek için yeterli zamanı olduğunu da söylerdi. Gerçekten de, onun bakış açısına göre, yere varması için gereken süre o kadar kısadır ki ömrü buna hayli hayli yetecektir. Bunun tek anlamı olabilir: müona göre zaman, Dünya'daki bize göre daha yavaş akıyor olmalı. Zaten gerçekte de tam olarak böyle oluyor; fakat bu zamanın yavaşlaması meselesine önümüzdeki bölüme kadar daha fazla girmeyeceğim. Şimdilik, üzerinden atlamamız gereken son bir mantık engeli kaldı. Diyelim ki müonla hangi hızda gittiği konusunda anlaştınız (ya da daha doğru söylemek gerekirse, hangi hızla birbirinize yaklaştığınız konusunda). Ayrıca müon yolculuğunun sizin sandığınızdan daha kısa sürdüğünü söylüyor. O zaman işi kitabına uydurmak için, kendisinin de daha kısa bir mesafe gittiğini söylemesi gerekir. Çünkü madem hızı konusunda hemfikirsiniz, müon daha kısa zaman boyunca gittiğini söylüyorsa, gittiği mesafeyi de daha kısa görüyor olması gerekir.

Yüksek-hızdaki hareketin bu özelliğine “uzunluk büzülmesi” denir. Hızlı hareket eden cismin durduğu hale göre daha kısa gözükmesi gibi, hızlı hareket eden cismin bakış açısından da gideceği mesafe daha kısa gözükür.

Galaksilerarası yolculuk

Bu durumdan ilginç bir sonuç çıkıyor. Ahırdaki Sırık Paradoksu'na dönmeden önce gelin buna bakalım. 3. bölümde Olbers Paradoksu'nu tanıtırken bize en yakın komşu yıldızların birkaç ışık yılı uzakta olduğunu söylemiştik. Demek ki ışık hızında bile gitsek onlara ulaşmamız yıllar sürecek. Bu oldukça iç karartıcı bir sonuç, çünkü güneş sistemimize hapsediğimiz anlamına geliyor. En iyi olasılıkla Güneş'in

çevresindeki diğer gezegenleri ziyaret edebiliriz; daha uzaklara gitmek aşırı uzun zaman alır. Bırakın “çok çok uzak” galaksileri, en yakındakiler dışındaki yıldızları bile ziyaret söz konusu olamaz gibi gözüküyor –sonuçta ışığın bile oralara ulaşması binlerce, hatta milyonlarca yıl sürüyor.

Peki şimdi size ışık hızı sınırının altında bir hızla giderek Evren’in diğer ucuna göz açıp kapayıncaya kadar gidebileceğimizi söylesem ne dersiniz? Bilim kurgu mu? Hayır. Bizi bundan alıkoyan tek şey ışık hızına yakın gidebilen bir uzaygemisi. Böyle bir gemiyi belki asla inşa edemeyiz. Fakat diyelim ki yaptık. O zaman müon örneğinde olanlar aynen bunda da olur. Müonun bakış açısından, Dünya’ya olan mesafenin bizim gördüğümüzden çok daha kısa olması gibi, uzak yıldızda doğru ışık hızına yakın yol alan uzaygemisindeki yolcu da gidilecek uzaklığı büzülmüş olarak görür.

Dünya’yla hedef yıldız arasında binlerce ışık yılı uzunlukta katı bir çubuk olduğunu düşünün. Her hareket görece olduğu için, uzaygemisindekiler kendilerinin ışık hızına yakın gittiklerini değil, çubuğun ters yönde ışık hızına yakın gittiğini söyleyebilirler. Onların bakış açısına göre kendileri sabit duruyor ve çubuğun yanlarından geçişini seyrediyorlar. Bu yüzden çubuğun boyunu kısalmış olarak görürler ve yanından geçip hedeflerine ulaşmaları daha kısa sürer.

Görelilik kuramı, ışık hızına yaklaştıkça uzunlukların kısalacağını söyler. Örnek vermek gerekirse, ışığın 0,99 katı hızla giden birine 100 ışık yılı uzaklık sadece 14 ışık yılı olarak gözükür. Işığın 0,9999 katı hızla giden birineyse bu uzaklık sadece 1 ışık yılı olarak gözükür (dolayısıyla yolculuk da bir yıl sürecektir, çünkü uzaygemisi neredeyse tam ışık hızında gitmektedir). Ve eğer gemi ışık hızına daha da yakın giderse, örneğin 0,999999999 katı hızla, o zaman 100 ışık yılı 2 günden daha kısa bir zaman sürer.

Burada hiçbir fizik yasasını çiğnemediğimize dikkat edin. Işık hızına ne kadar yakın giderseniz, hedefinize ulaşmak için gereken zaman da o derece kısalır. Buradaki kısalmanın daha hızlı gitmekten kaynak-

lanmadığını anlamış olduğunuzu umuyorum. Sonuçta ışık hızının 0,999999999'u ile 0,999'u arasında mutlak anlamda pek bir fark yok. Bu kısalma, ışık hızına yaklaştıkça uzunlukların bize daha kısa gelmesinden kaynaklanıyor; uzunluk kısaltıldıkça gidilmesi için gereken süre de kısalıyor.

Peki bunun hiç kötü yanı yok mu? Uzaygemisinde giden size göre, “büzülmüş” mesafeyi gitmek için kısa bir süre geçecek ve yolculuğunuz çabucak bitecek. Eğer 100 ışık yılını kat etmek 2 gün sürecekse vardığınızda sadece 2 gün yaşlanmış olacaksınız. Fakat unutmayın, zamanın Dünya'daki geçişine oranla sizin zamanınız çok daha yavaş geçiyor. Dünya'dakilere soracak olursanız, ışık hızına yakın bir hızla gitseniz de kat etmeniz gereken 100 ışık yılı mesafe var, bu yüzden yolculuğunuz da 100 yıl sürecek (hatta biraz daha fazla, çünkü ışık hızının biraz altında gidiyorsunuz.) Yani sizin “iki uzaygemisi günü”, 100 “Dünya yılı”na eşit. Daha da kötüsü, vardığınızda Dünya'ya bir ışık sinyali gönderirseniz, varması 100 yıl sürecek. Dolayısıyla Dünya'dakiler sağ salim vardığınızı, siz yolculuğa çıktıktan en erken 200 yıl sonra öğrenebilecekler.

Anlayacağınız, Evren'de istediğiniz yere istediğiniz kadar kısa zamanda *ışık hızından düşük bir hızla* gidebilirsiniz. Ama döndüğünüzde Dünya'daki ailenizi ve arkadaşlarınızı hâlâ canlı bulmayı beklemeyin.

Bu tartışmayı akıllarımızın almayacağı bir finalle bitirmek için, bir ışık ışınının uzayda dolaşmasının nasıl bir şey olduğunu hayal etmeye çalışalım. Burada artık göreliliğin sonuçları en uç mantık noktasına dayanıyor: eğer bir ışık ışınının üzerine binersek, her uzaklık, hatta bir ucundan öbür ucuna bütün Evren bile sıfırlanır. Ama bunda bir sorun yok, çünkü zamanın kendisi de duracağından, sıfır zamanda sıfır mesafe gitmiş oluruz! Hiçbir şeyin ışık hızında gidememesinin nedenlerinden biri de bu: böyle bir şey üzerinde düşünmek için bile fazla çılgınca. Yine de ışık bunu sorunsuz bir şekilde yapabiliyor –keşke dili olsaydı da nasıl bir his olduğunu söyleyebilseydi.

Bir sonraki bölümde bu fikri daha yakından inceleyeceğiz. Bu kısa

ara fasıldan sonra Ahırdaki Sırık Paradoksu'na geri dönebiliriz –sadece çözmek için değil, aynı zamanda paradoksun nereden kaynaklandığını görebilmek için.

Son kez Ahırdaki Sırık Paradoksu

Artık “hızımızı” aldığımıza göre, görelilik kuramının ışık hızına yakın giderken uzunlukların büzülmesine ilişkin öngörülerini dikkate alarak soruyu baştan ifade edelim. Unutmayın, şu anda ahırın içindeyiz ve atlamacının bize doğru yüksek hızla geldiğini görüyoruz. Sabitken sıırığın boyunun ahırın boyuyla aynı olduğunu biliyoruz. Fakat şu anda hareket ettiği için bize daha kısa görünecek ve böylece ahırın içine tamamen sığabilecek. Hatta öyle bir an olacak ki, eğer yeterince hızlı davranırsak, ahırın ön ve arka kapılarını eşzamanlı, yani aynı anda kapatarak sıırığı içeri hapsedebiliriz.

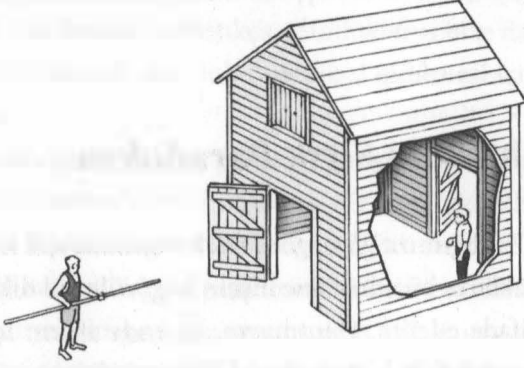
Duruma bir de sırıkla atlamacının gözünden bakalım. Ona göre sırık kıpırdamıyor (yani *kendine göre* yeri değişmiyor) ve ahır hızla yaklaşıyor. Bu yüzden büzülmüş, boyu kısalmış bir ahırın kendisine doğru geldiğini görüyor. İçinden geçerken, *daha* sıırığın arka ucu içeri *girmeden* ön ucu arka kapıdan çıkacak. Tabii bu durumda iki kapıyı birden kapatmak da imkânsız olacak, çünkü sırık ahırın içine sığamayacak kadar uzun.

Bu gerçek bir fiziksel olay mı yoksa bir tür göz yanılgısı mı? Sonuçta hem siz hem de atlamacı haklı olamaz ya! Kapı bir anlığına ya kapatılabiliyordur ya da kapatılamıyordur.

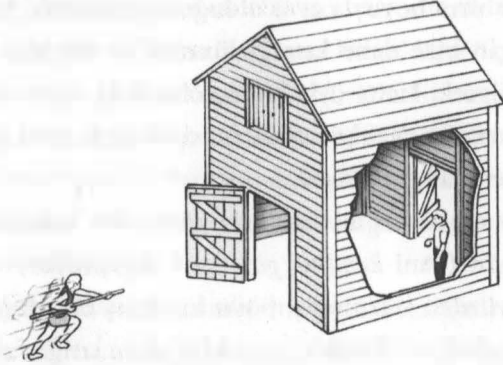
Burada paradoks, bölümün başında da belirttiğim gibi her ikinizin de haklı olmanız. “Her hareket görecedir” ve “Hızlı cisimler daha kısa gözükür” ilkelerini temel aldığımızda, görelilik kuramı bize tam da böyle olacağını söylüyor.

Paradoksun çözümü, “eşzamanlı olaylar” sözünün anlamında yatıyor. Ahırın içindeyken iki kapıyı eşzamanlı kapatabileceğimizi söy-

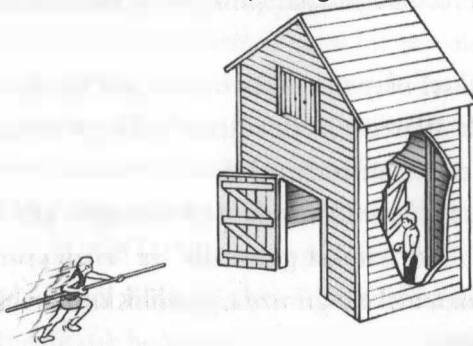
Şekil 5.2. Ahırdaki Sırık Paradoksu



(a) Sırık ahıra göre hareket etmiyorken ikisinin de boyu aynı.



(b) Ahırdaki gözlemciye göre hareket eden sırık şu anda kısaldı ve içeri sığabilir.



(c) Atlamacıya göreyseniz asıl kısalan ahır. Sırığın içeri sığması imkânsız.

lemiştik. Elbette arka kapıyı hemen açmalıyız ki sırık çarpmasın. Bu önemli değil; önemli olan iki kapının da kısa bir süreliğine eşzamanlı kapalı kalması. Fakat atlamacıya göre olaylar şöyle gelişiyor: ahıra girdikten sonra henüz sıırığın ön ucu arka kapıya ulaşmamışken, kısa bir anlığına arka kapının kapandığını görüyor. Hemen sonra sırık sağ salım dışarı çıkabilsin diye tekrar açılıyor. Bundan kısa bir süre *sonra*, sıırığın arka ucu ahıra girdikten sonra, ön kapı kapanıyor. Dolayısıyla “Evet,” diyor gözlemlerini sizinkilerle karşılaştırmak için ahırdan çıkıp yanınıza geri geldiğinde, “iki kapının da kapandığı doğru, ama aynı anda değil.” Ahırın ona ne kadar kısa göründüğünü düşünürsek ona göre bu zaten imkânsız olurdu.

Olayların sırasının bu şekilde farklı gözlemcilere göre farklı olması, Einstein’ın görelilik kuramının bir başka sonucu. Ve aynı şu ana kadar karşılaştığımız diğer garip sonuçlar gibi, bu da yalnızca kuramsal bir sonuç olarak kağıtta kalmıyor; gerçekten oluyor. Fakat tıpkı zamanın yavaşlaması veya uzunlukların kısalması gibi, günlük hayatta karşılaştığımız bir durum değil. Bunun nedeni basit: ışık hızına yakın gitmek gibi pek bir âdetimiz yok. Çoğumuz için hayatta en hızlı hareket edeceğimiz yer uçak. Jetlerin seyir hızı saatte 1.000 kilometrenin biraz altıdır. Bu da ışık hızının milyonda biri demektir. Bu kadar yavaş giderken “göreliliğin” etkilerini fark etmek çok zordur.

Tüm bu anlattıklarımı şüpheyle karşıladığınızı hissedebiliyorum – bütün bu anlattıklarımın canıgönülden inanmamanıza biraz gücendim ne yalan söyleyeyim (yok eğer tüm açıklamalarımın tatmin olduysanız ne âlâ, o zaman kusuruma bakmayın). Yine de şeytanın avukatlığına soyunup sorunu biraz daha ciddileştirmeme izin verin. Birbirlerine göre hareket etmezken sıırığın ve ahırın aynı boyda olduğunu söylemiştik. O zaman ilkesel olarak, eğer görelî uzunluk büzülmesi diye bir şey olmasaydı, hareket halindeki sıırığın bir anlığına da olsa ahırın içine sığması gerekirdi. Peki ya sırık, diyelim ki, ahırın iki katı boyda olsaydı? Görünüşe bakılırsa aynı argümanlar yine geçerli. Bu durumda, biz ahırın içindeyken sırık daha kısa görünür, hatta yeterince hızlıysa, yine

ahırın içine sığacak kadar kısalabilmesi gerekir. Eğer bu noktayı daha önceden kavrayamadıysanız bu son örnekte kavramış olmanız gerekir: Bu uzaklıkların kısalması olayı bir göz yanılgısı değil. Sırığın göze kısa gelmesi değil buradaki konu –ahırın içindeki bizler için sırık *gerçekten* daha kısa ve iki kapıyı eşzamanlı kapatmamız mümkün. Peki ama bu kısalma gerçekse, sıırığı oluşturan atomlar da mı büzüldü? Daha da can alıcı bir nokta: sırıkla atlamacı da bu büzülmeden muaf olmadığına göre, koşarken bize daha dar gözükecek; peki acaba bu durum onu rahatsız ediyor mudur? Cevap hayır, hiçbir fark hissetmiyor (belki olsa olsa nesefi kesilmiştir, sonuçta az buz değil koştuğu hız), onu böyle büzülmüş gören ahırın içindeki bizleriz. Onun bakışına göre hızla giden ahır ve içindeki biziz.

Madem atlamacı kendini büzülmüş hissetmiyor ve taşıdığı sırık kendisine koşuya başlamadan öncekiyle tamamen aynı gözüküyor, o zaman sıırığın kısalması kesinlikle, ama *kesinlikle* bir yanılsama olmalı.

Bunu sınavalım. Ahırın bittiği yerde arka kapı değil de sağlam bir taş duvar olsun. Atlamacının güvenliğini boşverin; ışık hızına yakın koşabildiğine inandıysanız, duvara çarpmadan aniden durabileceğine de inanacaksınız artık.

Yine iki farklı bakış açısından olayların nasıl geliştiğine bakalım. Size göre, kısalmış olan sırık içeri girdikten sonra, daha taş duvara çarpmadan *önce*, ahırın ön kapısı kapatılabilir.

Ancak atlamacının gözünden, daha sıırığın arkası içeri girmeden önü duvara çarpar. Hem sıırığın, hem de duvarın çarpışmaya dayanacak kadar sağlam olduğunu varsayarsak, ön kapıyı kapatabilmemiz için sıırığın arkası nasıl *içeri* girecek? Burada, olayların sırasından daha ciddi bir sorunla karşı karşıyayız. Atlamacıya göre olaylardan biri –sırık girdikten sonra kapının kapanması– adeta hiç gerçekleşmiyor bile. İşte şimdi Einstein'ı ve kuramını köşeye sıkıştıran, gerçek bir paradoks yakaladık.

Aslına bakarsanız hayır, yine yakalayamadık. Bunun tamamen geçerli ve doğru bir açıklaması var. Atlamacının bakış açısından, sıırığın ön ucu duvara çarpıyor gerçekten, fakat arka ucu henüz bu olaydan

habersiz, çünkü göreliliğe göre tam anlamıyla kaskatı, hiç esnemeyen bir cisim olamaz. Hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı hareket edemeyeceğini söylemiştik, bu yüzden sıırğın ön ucu, aniden durmuş olduğu bilgisini (sırık boyunca ilerleyen bir tür şok dalgasıyla) halen eski hızında gitmeye devam eden arka uca yeterince hızlı ulaştıramaz. Özetle, sıırğın arkası önünün durduğundan henüz haberdar değıl. O kadar hızlı gidiyor ki, ön tarafın durduğu bilgisi kendisine ulaştığında, zaten tamamen ahırın içine girmiş olacak. Artık kapı kapatılabilir.

Kapıları tekrar çok hızlı bir şekilde açmaya hazır olmamız gerektiğine dikkat edin, çünkü sırık içeride uzun süre kalmayacak. Atlamacı ahırın içinde aniden durduğu anda, ikiniz de uzunlukları gerçekte oldukları gibi göreceksiniz (yani hareket etmedikleri haldeki uzunluklarını kastediyorum –görelilik kuramında buna “öz-uzunluk” deniyor.) Ayrıca bu örnekte sıırğın boyunun ahırın iki katı olduğunu söylemiş-tik. Çubuğun farklı parçaları durup da doğru uzunluklarına kavuş-tuklarında (unutmayın, hiçbir şey gerçek anlamıyla kaskatı olamaz), atlamacının görüşü sizinkiyle bağdaşacaktır. Önündeki taş duvar yüzünden sıırğın ön ucu hiçbir yere gidemeyeceğinden, arka uç ön kapı tekrar açıldığında, yarısı dışarı taşana dek hızla uzayacaktır.

Söz konusu edilmeye değer olsa da ayrıntısına girmek istemediğim son bir nokta daha var. Sizin ve atlamacının farklı anlarda sıırğı farklı şekilde gördüğünüzden bahsettik bol bol. Fakat sıırğın önünü veya arkasını görmek bile zaman alır aslında: sıırıktan gelen ışığın sizin veya atlamacının gözüne ulaşması için geçmesi gereken zamandır bu. Sırık ışık hızına yakın hareket ettiğinden dolayı bu noktanın da göz önünde tutulması gerekir. Ancak şimdilik daha fazla ayrıntıdan kaçınacağız. Baştaki sorumuz için, ipin (veya sıırğın) boyunun hızına göre değıştiğini söylemek yeter. Size bir de güzel haberim var: Sıradaki zamana ilişkin paradoksu bu bölümde attığımız temeller üzerine kuracağımız için, daha hızlı bir şekilde sadede gelebileceğiz.

ALTI

İkizler Paradoksu

Çok hızlı yolculuk ederek geleceğe gitmek mümkün

BU BÖLÜMDE EINSTEIN'IN görelilik kuramının vardığı öngörülerden kaynaklanan paradokslara bakmayı sürdüreceğiz. Yalnız bu sefer, uzunluk yerine zamanın doğasının derinlerine dalacak, ışık hızına yakın yolculuk edildiğinde nasıl etkilendiğine ilişkin akıllara durgunluk veren kavramlara bakacağız.

Bu paradoksun ana hikâyesi kulağa bilim-kurgu gibi gelebilir, ancak her ne kadar teknolojik açıdan henüz mümkün olmasa da, aslında tamamen ana akım bilimin dahilindedir ve tüm fizik öğrencilerine göreliliğin çıkarımlarına örnek olarak öğretilir.

Işık hızına yakın gidebilen bir uzaygemimiz olsun. Şu an için böyle bir aracı yapma imkânımız olmasa da, ilkesel olarak tamamen mümkün. Ayrıca gemimiz ışık hızını geçmediğinden dolayı, “büklüm motoru (warp motoru)” veya hiperuzayda kısayollar gibi popüler bilim-kurgularda karşılaştığımız tartışmalı fikirlere başvurmamız da gerekmiyor.

Kahramanlarımızla tanışın: gemiyi inşa eden ikiz kardeşler Alice ve Bob. Alice uzaygemisinin pilotu olarak Dünyadan yola çıkıp tam bir

yıl süren galaksi turunu atarken Bob Dünya'da kalıyor. Alice biyolojik açıdan bir yıl daha yaşlanmış olarak Dünya'ya dönüyor. Uzaygemisinin güvertesindeki tüm saatler ve zaman ölçme aletleri Dünya'dan hareket edeli bir yıl geçtiği konusunda onunla aynı fikirdeler.

Bu sırada Bob yolculuğu baştan sona izlerken, Alice'in ışık hızına yakın gitmesinden kaynaklanan, Einstein'ın görelilik kuramının öngördüğü garip etkilerden birine tanıklık ediyor: Bob'a göre uzaygemisinde zaman, Dünya'daki zamandan daha yavaş geçiyormuş gibi gözüküyor. Eğer bir kamera aracılığıyla uzaygemisinde olup bitenleri seyrediyor olsaydı, her şeyi yavaş çekimde görürdü: saatlerin tiktakları, Alice'in hareketleri, vs hepsi yavaştı. Bu yüzden uzaygemisinde bulunan Alice'e bir yıl gibi gelen yolculuk, Dünya'daki Bob'a göre 10 yıl sürüyor. Gerçekten de, Alice bir yıl yaşlanmış olarak Dünya'ya geri döndüğünde, ikiz kardeşini on yıl yaşlanmış buluyor.

Bölümün başlığında geçen "paradoks" sözcüğünün kaynağı kendi başlarına bu anlattıklarımız değil. Kulağa garip gelse de tüm bunlar Einstein'ın kuramının öngörülerıyla tamamen tutarlı. Örneğimizde kullandığımız zamanları gelişigüzel seçtim; uzaygemisinin hızına bağlı olarak değişebilirler. Örneğin Alice ışık hızına daha da yaklaşıyorsa, herkesin basit bir hesap makinesi kullanarak gösterebileceği üzere, gemideki bir yılı Dünya'daki bir milyon yıla karşılık gelirdi. Bir başka deyişle, Alice'in bir günlük yolculuğu sırasında Dünya'da binlerce yıl geçmiş olurdu. Fakat biz yine de bir yıllık yolculuğun Dünya'da on yıla karşılık geldiği özgün örneğimizden şaşmayalım. Alice döndüğünde kardeşi hiç olmazsa hayatta olsun.

Paradoks, bağıl hareket fikrinin yola açtığı, birbiriyle çatışır gözükken çıkarımlardan kaynaklanıyor. Bu noktaya kadar, hikâye son bölümdeki Ahırdaki Sırık Paradoksu'nu andırıyor; ancak zaman kavramı, uzaklık kavramına göre her zaman daha kafa karıştırıcı sonuçlar doğuruyor. Referans sistemi seçimimizde ve zamanın bir yerde yavaşlarken diğerinde aynı devam etmesi konusunda biraz fazla mı hızlı davrandık acaba? Geçen bölümde göreliliğin birinci postülatını tanımiştık: her

hareket görecedir. Bakalım bu genelleme burada da geçerli mi. Elbette Alice, Dünya'dan uzaklaşan kendi gemisi olmadığını, asıl Dünya'nın ters yönde kendisinden uzaklaştığını iddia etme hakkına sahip. Sonuçta gerçek harekete kim karar veriyor? Alice kendisinin bir yıl boyunca sabit durduğunu, o sırada Dünya'nın önce uzaklaşıp sonra geri geldiğini söyleyemez mi? Kendi kamerasından baktığında Dünya'daki saatlerin tiktaklarının gemidekilere oranla yavaşlamasına dayanarak niye haklılığını kanıtlayamasın? "Bu yüzden daha az yaşlanan asıl Bob olur" diyecektir Alice, çünkü bir yıllık yolculuğu sırasında, Dünya'da bunun onda biri kadar, yani bir aydan biraz daha uzun zaman geçmiş olması gerekir. İşte paradoksumuz bu.

Görece hareketin etkilerindeki bu bariz simetri, uzun yıllar boyunca bir hayli kafa karışıklığına yol açmıştır. Hatta bu paradoksun, Einstein'ın kuramını ve zamanın farklı referans sistemlerinde farklı hızlarda geçtiği yönündeki önerisini çürüttüğünü iddia eden pek çok bilimsel makale yayınlanmıştır. Bunlara inanacak olursak Bob ve Alice'in gördüklerinin kesinlikle bir tür göz yanılgısı olması gerekir. Zaman *gerçekten* yavaşlamıyordur. İlk bakışta, iki referans sistemi arasındaki bariz simetriyi göz önünde tutarsak, Dünya'yla uzaygemisi arasında bir zaman farkı olmamalı. Dolayısıyla Alice geri döndüğünde ikisi aynı yaşta olur. İkisi de yanılıyor anlaşılan. En azından ikisinin birden haklı olamayacakları kesin.

İster inanın, ister inanmayın, haklı olan Bob. Alice geri döndüğünde gerçekten Bob'dan daha az yaşlanmış olacak. Burada asıl soru, bu durumun görece hareket ilkesiyle nasıl bağdaştığı. Simetrik bakış açıları fikri neden yanlış?

Bu paradoksu çözmekten önce ilk iş olarak, sizi şuna ikna etmeliyim: ışığa yakın hızlarda sadece cisimlerin boyları değişmez, ayrıca zaman da yavaşlar. Gelin önce zamanın doğası üzerine biraz fikir yürütelim. Bir sonraki bölümde zaman yolculuğundan kaynaklanan ilk gerçek paradoksumuzla karşılaşarak işler iyice kızıştığında bunun bize çok faydası olacak.

Zaman nedir?

Temel anlamıyla zamanın ne olduğunu hiç birimiz bilmiyoruz desek yanlış olmaz. Zamana dair şimdiye kadarki en iyi kuramımızı Einstein'ın Genel Görelilik Kuramı'ndan çıkarıyoruz. Bu kuramı Olbers Paradoksu bölümünde tanımiştık. Ama en güçlü bilimsel kuramlarımız dahi, bazı derin fizikötesi sorulara yanıt aradığımızda yetersiz kalıyor: "Zaman gerçekten akıyor mu, yoksa bu sadece bir yanılsama mı?", "Zamanın akışının mutlak bir hızı var mı? Hatta bu akışın belirli bir yönü var mı?" Açıkça belli ki, "zaman geçmişten geleceğe akar" veya "zaman saniyede bir saniye hızla ilerler" gibi ifadelerin pek yardımları dokunmuyor.

Isaac Newton, günümüzden üç yüz yıldan daha fazla zaman önce hareket yasalarıyla ilgili *Principia mathematica* adlı eserini yayınlamadan önce zaman, bilimden çok felsefenin konusu olarak görülüyordu. Newton, kuvvetlerin etkisi altındaki cisimlerin nasıl hareket ettiğini açıkladı. Zaman kavramı olmadan hareket ve değişim anlamlı olamayacağından, Newton zamanı doğanın matematiksel tanımına ayrılmaz bir parça olarak ekledi. Ne var ki Newton'un zamanı mutlak ve katıdır. Zaman, sanki saniyeleri, saatleri, günleri ve yılları bizim (genelde öznel olan) deneyimlerimizden bağımsız olarak belirleyen sanal bir kozmik saat varmışçasına sabit bir hızla ilerlemektedir; bizimse akış hızına hiçbir etkimiz yoktur. Kulağa tamamen mantıklı gelse de, modern fizik bu zaman anlayışının yanlış olduğunu süpheye yer bırakmayacak şekilde göstermiştir.

Einstein 1905'te görelilik kuramını yayınlayarak fizikte bir devrime yol açtı; uzay ve zamanın derin bir şekilde iç içe geçmiş olduğunu dünyaya duyurdu. Zaman mutlak ve gözlemciden bağımsız değildi; hızınıza bağlı olarak genişletilebilir veya büzülebilirdi.

Bizim kendi öznel zaman farkındalığımızın burada bahsettiğimiz zamanın akış hızındaki değişimlerle hiçbir ilgisi olmadığını da belirtelim. Eğlenceli bir partide saatlerin göz açıp kapayıncaya kadar geçmesi, veya tam tersi bir şekilde sıkıcı bir konuşmanın hiç bitmeyecekmiş gibi gelmesi hepimizin yaşamış olduğu deneyimler. Bu durumlarda zama-

nın hızlanıp yavaşlamadığını biliyoruz. Benzer şekilde, yaşımız ilerledikçe zaman daha hızlı akıyormuş gibi gelir. Bunun nedeni zamanın hızlanması değil elbette, sadece geçip giden her yılın hayatımızın daha küçük bir oranına karşılık gelmesi. Çocukken bir doğum gününden bir sonrakine kadar ne çok zaman geçtiğini hatırlayın. Tüm bu deneyimlerimize rağmen, Newton'un kastettiği şekilde mutlak bir zamanın bizim dışımızda bir yerlerde varolduğu ve bütün Evren'de aynı hızda aktığı yönünde güçlü bir sezgimiz vardır.

Daha henüz Einstein ortada yokken bile, mutlak zaman fikrine şüpheyile bakan biliminsanları ve filozoflar vardı. Zamanın akış hızı ve akış yönüyle ilgili değişik fikirler dile getirdiler. Bazı filozoflar zamanın kendisinin bir yanılsama olduğunu savundu. Aşağıdaki mini-paradoksa bir bakın, Zeno'nunkilere ne kadar da benziyor:

Zaman, eminim siz de bana katılacaksınız, üç bileşene ayrılabilir: geçmiş, şimdi ve gelecek. Her ne kadar geçmişe ait kayıtlar varsa ve olaylar hatırlansa da, geçmişin artık var olduğu söylenemez. Öte yandan gelecek ise henüz yaşanmamıştır ve onun da varolduğu söylenemez. Geriye bir tek şimdi kalıyor –geçmiş ile geleceği birbirinden ayıran çizgi. “Şimdi”nin varlığıysa kesindir. Fakat “şimdi”nin zaman boyunca sürekli ilerleyerek geleceği geçmişe dönüştüren değişken bir an olduğunu “hissetsek” de, sonuçta sadece tek bir andan ibarettir ve belli bir süresi yoktur. Sürekli değişen şimdiki zaman, geçmişle gelecek arasındaki bir ayrım çizgisinden başka bir şey değildir ve bu nedenden dolayı gerçek bir varlığa sahip olduğu söylenemez. Eğer zamanın her üç bileşeni de gerçekte yoksa, zaman dediğimiz şey bir yanılsamadır!

Bu tür zekice felsefi argümanları şüpheyile karşılamakta haklısınız, ben de öyle yapıyorum. Biz asıl konumuza geri dönelim: zor olan şey, zamanın gerçekten “aktığını” doğrulamak. Doğal olarak bizim için zamanın aktığını reddetmek güç, ama bilimde sırf içgüdüsel hislerimiz öyle söylüyor diye bunu yeterli göremeyiz. Günlük konuşmada “zaman

akıp gidiyor”, “zamanı gelecek”, “doğru zamanı kaçırdık” gibi ifadeler kullanırız. Ama düşünenecek olursanız her hareket ve değişim, tanımı gereği, zamana göre değerlendirilmek zorundadır. Değişimin tanımı budur. Belirli bir sürecin hızını ifade etmek istediğimizde ya birim zamandaki olay sayısını söyleriz (örneğin bir dakikadaki kalp atışı sayısı), ya da birim zamandaki değişim miktarını (örneğin bebeğin bir ayda kaç kilo aldığı). Ama zamanın değişim hızını ölçmeye çalışmak anlamsız olur, çünkü bir şeyi kendisiyle karşılaştıramayız.

Bu noktayı aydınlatmak adına size şunu sorayım: zaman birden hızlansa bunu nasıl anlarız? Kendimiz de zamanın içinde olduğumuzdan asla bunun ayrımında olamayız. Hem süreleri ölçtüğümüz saatler, hem de kendi iç biyolojik saatlerimiz hızlanacak çünkü. Kendi zamanımızın akışı hakkında yorum yapabilmemiz için mutlaka dışımızdaki, daha temel bir zamanı esas almamız gerekir.

Fakat eğer kendi zamanımızın akış hızını ölçmemizi sağlayacak bu türden bir dış zaman yoksa, soruyu çözmiyor, sadece öteliyoruz demektir. Eğer zaman doğası gereği akıyorsa, neden bu dış zaman da akmasın? Ki bu durumda dış zamanın akış hızını ölçebilmek için bir başka zaman ölçeğine daha ihtiyaç duyarız ve bu sonsuza kadar böyle gider.

Zamanın akış *hızından* bahsedemiyor olmamız zamanın akmadığı anlamına gelmez. Belki de zaman duruyor, biz (bilincimiz) zaman boyunca ilerliyoruzdur; gelecek bize doğru geleceğine biz geleceğe doğru gidiyoruzdur. Hareket halindeki bir trenin penceresinden akıp giden manzaraya baktığınızda gidenin aslında manzara değil tren olduğunu bilirsiniz. Benzer şekilde, “şimdi” dediğimiz şu anki zamanla gelecekteki bir olayın (örneğin önümüzdeki yılbaşının) birbirlerine doğru yaklaştığı şeklinde güçlü bir öznel izlenimine sahibiz. İki anı birbirinden ayıran zaman aralığı daralır. Önümüzdeki yılbaşının bize yaklaşması, veya bizim önümüzdeki yılbaşına yaklaşmamız aynı kapıya çıkar. Buna da karşı çıkan olur mu? Korkarım evet. Çoğu fizikçi bu düşüncenin bile geçerli olmadığını savunuyor.

Garip gelebilir ama fizik yasaları zamanın akışına dair hiçbir şey

söyemez. Atomlardan saatlere, uzaygemilerinden yıldızlara kadar her türlü cismin belli bir kuvvetin etkisi altında, belli bir anda nasıl davranacağını söylerler, gelecek zamandaki davranış ve durumlarını hesaplayabilmemiz için kurallar sunarlar. Gelgelelim, fizik yasalarının hiçbir yerinde zamanın aktığına veya herhangi bir yönü olduğuna dair bir ipucu bulamazsınız. Zamanın da uzay gibi varolduğunu söyleriz o kadar. Belki de zamanın aktığı hissi, adından ibarettir: bize ne kadar gerçek gibi gelse de sadece bir histir. Bilim, zamanın geçtiği ve “şimdi”nin değiştiği yönündeki bu güçlü hissin nereden kaynaklandığına dair tatmin edici bir açıklama getirememiştir henüz. Hatta bazı fizikçiler ve filozoflar fizik yasalarında eksik olan bir şeyler olduğunu söyleyecek kadar ileri giderler. Belki de onlar haklıdır, kim bilir.

Pekala, bu kadar felsefe yeter. Zamanın ilerleyiş hızının Özel Görelilik Kuramına göre nasıl ve neden değiştiğini anlama çabalarımıza geri dönelim. Çünkü bu noktayı çözüme kavuşturmadan İkizler Paradoksu’nun içinden çıkabilecek gibi görünmüyoruz.

Zamanı yavaşlatmak

Zamanın doğasına gelin bir de Einstein’ın gözünden bakalım. Bir önceki bölümde birbirine göre yüksek hızda hareket eden iki gözlemcinin uzunlukları nasıl farklı ölçtüklerini görmüştük. Zamanın bu işten nasıl etkileneceğini en hızlı şöyle anlayabiliriz. Hız eşittir yol bölü zaman formülünü hepimiz okuldan hatırlarız. Birbirlerine göre hangi hızda gitiklerinden bağımsız olarak, ışığın her gözlemciye aynı hızda görüldüğünü de biliyoruz. Bu durumda eğer uzaklıkları farklı ölçüyorlarsa (“ahırdaki sırık” örneğinde olduğu gibi), zamanları da farklı ölçmeleri gerekir, çünkü kendi ölçtükleri uzaklığı zamana böldüklerinde ışığın hızı konusunda aynı (doğru) cevaba ulaşmaları gerekir. Örneğin bir gözlemci iki nokta arasındaki uzaklığı 1 milyar kilometre, ışığın bu uzaklığı kat etme süresini bir saat olarak ölçüyorsa, ve

ikinci bir gözlemci aynı iki nokta arasını 2 milyar kilometre olarak ölçüyorsa (son bölümden, farklı hızlardaki gözlemcilerin uzunlukları farklı ölçtüğünü hatırlayın), o zaman ışığın hızını aynı bulabilmeleri için, ikinci gözlemcinin ışığın aynı uzaklığı gitme süresini iki katı olarak ölçmesi gerekir. Sayısal olarak ifade edersek, birinci gözlemci ışığın 1 milyar kilometreyi bir saatte, ikinci gözlemci 2 milyar kilometreyi iki saatte kat ettiğini iddia edecektir. Böylece her ikisi de ışığın hızını saatte 1 milyar kilometre olarak aynı bulurlar.

Demek ki herkesin ışığın hızını aynı bulma zorunluluğu, iki olay (bizim örneğimizde, ışının iki nokta arasındaki yolculuğunun başlangıcı ve bitişi) arasındaki zaman aralığının farklı gözlemciler için farklı değerde olmasını gerekli kılar. Bana göre bir saat süren olay size göre iki saat sürebilir.

Zamanın bu alışık olmadığımız farklı hızlarda akma özelliğini kavrayabilmek adına bir ikna denemesi daha yapmak istiyorum. Bir fenerle gökyüzüne doğru ışık tutuyorsunuz. Bense bir uzaygemisine binip ışıkla aynı yönde, ışığın dörtte üçü hızla sizden uzaklaşıyorum. Siz ölçüm yaptığınızda, ışığın benden dörtte biri hızla uzaklaştığını saptıyorsunuz. (Yavaş arabadaki biri yanından geçen arabanın hızını, iki arabanın hız farkı kadar görür. Bu da onunla aynı durum).

Ben geminin penceresinden baktığımda mantıksal olarak ne görmemi beklersiniz? Sezgilerimize soracak olursak yanıt bariz: Tıpkı sizin gibi, ışığın dörtte biri hızla yanımdan geçtiğini görmem gerekir. Ancak Einstein her gözlemci ışığın hızını aynı ölçer diye ısrar ettiği için, benim de ışığı saatte 1 milyar kilometre hızla benden uzaklaşıyor olarak görmem gerekir –sizin feneri terk ettiğini gördüğünüz hızla aynı. Bu sonuç, görelilik kuramının bir öngörüsü olmanın ötesinde, geçtiğimiz yüzyıl boyunca laboratuvarlarda binlerce kez doğrulanmıştır. Peki ama bundan ne gibi sonuçlar doğar?

(Bir uyarı notu: Işık ışınının hızını ölçmekten bahsederken “görmek” sözcüğünü kullanıyoruz. Ama aslında bir şeyi görmemiz için, ışığın ondan çıkıp gözümüze ulaşması gerekir elbette. Bu zaman alır.

Zaten “ışık ışınını görmek” ne demek ki? Işığın ışıktan sekmesi mi? Dolayısıyla burada “görmek”ten kastımız bir şekilde “ölçmek” –örneğin ışık için, yolu üzerindeki ölçüm araçlarını harekete geçirdiği anları kaydetmek olabilir.)

Peki bu durumda, ben ışığın yanından dörtte üçü hızla giderken, nasıl oluyor da ışığı hâlâ feneri terkettiği hızda görebiliyorum? Bunun olabilmesinin tek yolu benim zamanımın sizinkine oranla daha yavaş geçmesi. İkimizde de aynı saatten varsa, benimkinin sizinkine göre daha yavaş ilerlediğini görürsünüz. Sadece o da değil, gemimdeki her şey daha yavaş hareket eder –kendim bile yavaş çekimde gibi hareket ederim; sizinle konuştuğumda, sesimi daha yavaş ve daha kalın duyarsınız. Yine de ben hiçbir fark hissetmem, zamanın yavaşladığının ayrımına varmam.

Okulda Einstein’ın kuramıyla ilgili ders alanlar, uzaygemisinin hızına bağlı olarak zamanın ne kadar yavaşlayacağını matematiksel yollardan hesaplamayı öğrenirler. Örneğin gözlemciye göre ışık hızının dörtte üçü hızla ilerleyen bir gemide zaman, gözlemcinin saatinde göre %50 daha yavaş geçer. Yani gemideki saatin her bir dakikası, gözlemcinin saatine göre iki dakika sürer.

Böyle bir durumun yalnızca varsayımda kalan bir ilginçlik olduğunu düşünebilirsiniz, sonuçta böylesi hızlara çıkabilen gemilerimiz yok. Ancak çok daha alçakgönüllü hızlarda bile, örneğin Ay’a giderken kullanılan Apollo uzaymekliğinin hızında (saatte yaklaşık 40.000 kilometre) bile zaman etkisi görülebilir. Uzaymekliğindeki ve kontrol üssündeki saatler arasında saniye başına birkaç nanosaniye kayma olur –bu farklar dikkate almak için çok küçük olsa da ölçülebilir farklardır. Biraz sonra bu örneğe tekrar döneceğiz.

Fakat şimdi gerçek dünyadan, bu etkinin önemli hale geldiği başka bir örneğe bakalım. Yüksek hızlarda zamanın yavaşlaması “zaman genleşmesi” adıyla bilinir ve fizik deneylerinde göz önünde bulundurulması standart hale gelmiştir –özellikle de Cenevre şehrindeki CERN Büyük Hadron Çarpıştırıcısında olduğu gibi atomaltı par-

çacıkların hızlandırıldığı deneylerde. Orada parçacıkların hızı ışık hızına o kadar yaklaşır ki, bu tür “görelî” etkiler hesaba katılmazsa deneyin anlamı kalmaz.

Demek ki Einstein’ın Özel Görelilik Kuramından şöyle bir ders çıkarabiliriz: ışığın hızının sabit olmasının doğurduğu sonuçlardan biri, yüksek hızlarda zamanın yavaşlamasıdır. Şimdi zamanla ilgili yeni bir bombaya hazır olun. Hatırlarsanız üçüncü bölümde Einstein’ın *iki* tane görelilik kuramı olduğunu söylemiştik: 1905’te Özel Görelilik, ardından 1915’te Genel Görelilik. Einstein, ikinci görelilik kuramında Newton’un kütleçekimin doğasıyla ilgili fikirlerini gözden geçirmiş ve bu kütleçekim kuvvetini, kütlenin çevresindeki uzay ve zaman dokusuna etkisi olarak çok daha temelden açıklamıştır.

Böylece Einstein’ın Genel Görelilik Kuramı, zamanı yavaşlatmanın farklı bir yolu daha olduğunu, kütleçekim sayesinde de zamanın yavaşlatılabileceğini söyler.

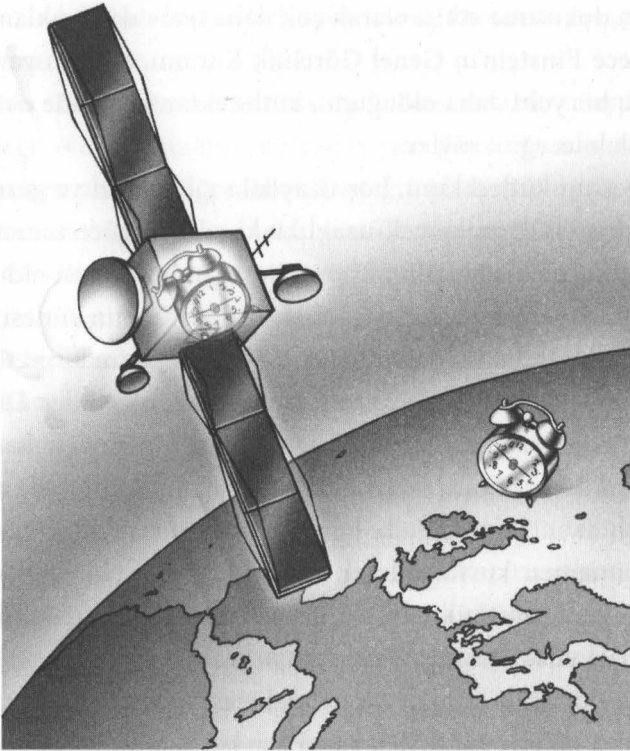
Dünya’nın kütleçekimi, boş uzaydaki yıldızların ve gezegenlerin çekiminden etkilenmeyecek uzaklıktaki yerlere göre zamanın daha yavaş geçmesine neden olur. Tüm cisimlerin bir kütlesi olduğundan, herbiri kendi yerçekim alanıyla kuşatılmıştır. Cismin kütlesi ne kadar fazlaysa, yakınındaki cisimlere o kadar büyük çekim kuvveti uygular, ve Einstein’a göre, zamanın akışını da o kadar çok etkiler. Dünya’daki zamanın akış hızına baktığımızda çok ilginç bir sonuçla karşılaşırız; yükseğe çıkıldıkça Dünya’nın çekim kuvveti azalır, böylece zaman da daha hızlı akar. Uygulamada bunun etkisi çok ufaktır; çekim etkisinden tamamen kurtulabilmek için Dünya’dan çok uzaklaşmamız gerekir. Uyduların tipik yüksekliği olan 400 kilometrede bile çekim kuvveti hâlâ yüzeydekinin %90’ı kadardır.

Kütleçekiminin zaman üzerindeki etkisini açıklarken vermediğim sevdiğim gülünç bir örnek var. Eğer kol saatim yavaş çalışıyorsa, bunu düzeltmenin yollarından biri de kolumu kafamın üstünde tutmak. Saatin yerden yüksekliği artacağı için biraz daha hızlı çalışacaktır. Bu etki gerçek olsa da o kadar küçüktür ki hiçbir işe yaramaz.

Örneğin bir saniyelik fark yaratabilmek için kolumu yüz milyonlarca yıl havada tutmam gerekir!

Bazı durumlarda, özel ve genel görelilikten kaynaklanan iki tür zaman genleşme etkisi birbirinin tersi yönde etki edebilir. Biri yerde, biri de Dünya'nın yörüngesinde iki saat düşünün. Hangisi daha yavaş çalışır? Yerdeki saate göre, yörüngedeki saatin hızlı hareketi yavaşlamasına neden olur, ama yerçekiminin daha az olması da saatin hızlanmasına neden olur. Peki hangi etki daha güçlü olur?

Şekil 6.1. Zamanı hızlandırmak



Uydudaki saat Dünya'dakine göre daha mı hızlı yoksa daha mı yavaş ilerler? Bunu yanıtlayabilmek için Einstein'ın iki görelilik kuramını da göz önünde tutmamız gerekiyor.

Tüm bunlar başlı başlarına bir paradoksa benzese de bu etkilerin birleşimleri 1970'lerin başında etkileyici bir deneyle güzelce onaylandı. Günümüzde, deneyi gerçekleştiren iki Amerikalının adıyla, "Hafele-Keating deneyi" olarak bilinir.

Ekim 1971'de, Joseph Hafele ve Richard Keating iki ticari yolcu uçağının güvertesine son derece hassas saatler yerleştirip Dünya'nın çevresinde uçurdu. Uçakların biri Dünya'nın dönüş yönünde doğuya doğru, diğeri tersi yönde batıya doğru gitti. Ardından iki uçaktaki saatleri başkent Washington'da bulunan ABD Donanma Araştırma Gözlemevi'ndeki saatle karşılaştırdılar.

Zamanın üzerindeki iki etkiyi, yani hızla giden saatlerin yavaşlamasını ve yüksek yerlerdeki saatlerin hızlanmasını, uçakların uçmuş olduğu yöne bağlı olarak dikkatlice ölçtüler. Bunu düşünelim biraz. Kabaca aynı yükseklikte olduklarından dolayı, her iki uçaktaki saatin de daha az yerçekimi hissetmiş olması gerekir; bu etki yerdeki saate göre hızlanmalarına neden olur. Ancak doğuya giden uçak Dünya'nın dönüşüyle aynı yönde gittiğinden daha hızlı gider (tıpkı nehrin aktığı yönde giden kayık gibi), bu yüzden içinde bulunan saat yerdekine oranla daha yavaş çalışır. Batıya doğru giden uçaktaki saat ise Dünya'nın dönüşünün tersi yönde gittiğinden (nehirde akıntıya karşı giden kayık gibi) yerdekinden biraz daha hızlı çalışır.

Deneyin başında tüm saatler dikkatlice ayarlanmıştı. Sonunda, doğuya giden saatin 0,04 mikrosaniye (saniyenin milyonda biri) geri kaldığı görüldü. Saatin geri kalması, hızlı yolculuk etmenin yavaşlatıcı etkisinin, yükseklikten dolayı azalan yerçekiminin hızlandırıcı etkisine üstün geldiğini gösteriyordu. Batıya giden saat ise neredeyse bunun on katı (0,3 mikrosaniye) daha hızlıydı. Bu durumda zayıflayan yerçekiminin hızlandırıcı etkisi, özel göreliliğin hızlandırıcı etkisiyle pekişmişti.

Oldukça karmaşık bir iş. En parlak fizikçilerin bile bunları oturabilmek için kafalarını kaşımaları gerekir. Fakat önemli olan şu ki, her iki durumda da deneyin ölçümleri Einstein'ın kuramlarının ma-

tematiksel öngörülerıyla birebir örtüşüyordu.

Günümüzde zaman üzerindeki bu etkiler, Dünya'nın yüzeyinde harita konumu belirleyen GPS uydularında sürekli hesaba katılır (bu size önceden sözünü ettiğim gerçek hayattaki diğer uygulama). Uydular ve yerdeki aletler arasında oluşan zamanın akış hızındaki küçük farklar için bu tür düzeltmeler yapmasaydık, akıllı telefonlar ve seyir sistemleriyle konumlarımızı alılageldiğimiz hassaslıkta belirleyemezdik. Konum belirlemede sadece birkaç metrelik hata payı olan bu hassaslık, yerdeki aletten çıkan sinyalin uyduya gidip geri gelmesi için gereken zamanın, mikrosaniyenin yüzde biri gibi bir hassaslıkta ölçülebilmesine bağlıdır. Peki göreliliği hesaba katmasaydık işler ne kadar kötüye gidebilirdi? Bir yandan bağlı hareket, uydulardaki saatlerin bizimkilere göre günde 7 mikrosaniye daha yavaş çalışmasına neden olurken, öte yandan uydularda yerçekiminin düşüklüğü, Dünya'daki saatlerden günde yaklaşık 45 mikrosaniye daha hızlı çalışmasına neden olur. Toplamda günde 38 mikrosaniyelik bir ileri kayma meydana gelir. Her mikrosaniye yaklaşık 300 metrelik bir mesafeye karşılık geldiğinden, Einstein'ı dikkate almamak demek, uydunun yerimizi günde 10 kilometreden daha fazla yanlış algılaması anlamına gelir –ve bu etki günden güne birikecektir.

Kütleçekimin zamanı yavaşlattığını ve yüksek hızın zamanı hızlandırdığını öğrendiğimize göre, Ay'a giden Apollo uzaymekinin güvertesindeki saatlere tekrar bakalım. İkizler sorusuna geri döndüğümüzde bu işimize yarayacak.

Apollo 8, Amerikan Apollo uzay programının ikinci insanlı göreviydi. Aynı zamanda Dünya yörüngesini terkeden ilk insanlı uzay uçuşuydu. Frank Borman, James Lovell ve William Anders'tan oluşan üç kişilik mürettebat, Dünya gezegenini bir bütün halinde görece kadar uzağa giden ilk insanlar oldular. Ayrıca Ay'ın öte yüzünü de dolaysız olarak yine ilk onlar gördüler. Dönüşlerinde Frank Borman, Ay'a gitmeselerdi daha genç olacaklarını iddia etti. Dahası, Dünya'daki zamana göre uzayda fazladan geçirdikleri saniyenin kü-

çükçük parçası için fazla mesai ücreti almaları gerektiğini söyledi. Para konusu şaka olsa da, uzay mekiğinde fazladan geçirdikleri zaman tamamen gerçektir.

Bu durum bölümün ana paradoksuyla zıtlık oluşturuyor, çünkü orada gemideki kardeş Alice, evde kalan ikizinden daha genç olarak geri dönüyordu. Aslına bakarsanız, burada böyle ters bir etki görülmesinin nedeni, zaman üzerindeki iki görelilik etkisinin birbiriyle olan ince ilişkisinden kaynaklanıyor. Toplamda üç astronot, Dünya'da kalanlara oranla yaklaşık 300 mikrosaniye daha fazla yaşlandılar. Bunun nasıl olduğuna birlikte bakalım.

Apollo 8'de zamanın Dünya'dan daha hızlı veya yavaş geçmesi, uzaymekinin uzaklığına bağlıdır. Dünya'dan uzaklaşırken ilk birkaç bin kilometre boyunca yerçekimindeki azalma zamanın hızlanması için yeterli olmaz –Apollo'nun Dünya'ya göre olan hızı belirleyici etkindir. Bu süre boyunca zaman astronotlar için daha yavaş akar ve Dünya'dakilere göre daha az yaşlanırlar. Fakat Dünya'dan uzaklaştıkça, yerçekiminin etkisi azalır ve Apollo'daki zaman hızlanmaya başlar –genel göreliliğin etkileri özel göreliliğin etkilerine artık baskın gelmektedir. Apollo'nun bütün yolculuğu boyunca, zamanın hızlanma etkisi daha büyük olmuş ve Dünya'dakine göre daha çok zaman geçmişti. 300 mikrosaniye fazlalık buradan kaynaklanıyordu.

NASA'daki fizikçiler eğlencesine, acaba gerçekten ekstra mesai söz konusu mu diye özenli hesaplamalar yaptılar ve üç astronottan sadece biri için, Apollo 8'de uzaya ilk yolculuğunu yapan William Anders için bu durumun geçerli olduğunu keşfettiler. Hem Borman, hem de Lovell, daha önceden Gemini 7 ile iki haftalık yörünge görevinde bulunmuşlardı. Hesaplamalara göre o sırada baskın olan etki hızlarından dolayı zamanın yavaşlamasıydı. Bu yüzden Dünya'dakilere oranla yaklaşık 400 mikrosaniye daha az yaşlanmışlardı. Dolayısıyla toplamda her ikisinin de 100 mikrosaniye net kazançları vardı ve Dünya'da kalanlara oranla daha gençtiler. Yani işin aslı, fazla mesai şöyle dursun, kendilerine fazla para ödenmişti!

İkizler Paradoksu'nun çözümlemesi

Artık kütleçekimin zaman üzerindeki etkilerini belirlediğimize göre, bölümün başında Alice ve Bob'la kurguladığımız paradoksu nihayet çözümleyebiliriz. Hatırlarsanız, her ikisi de hareket edenin diğeri olduğunu, bu yüzden zamanın asıl diğer tarafta yavaş geçtiğini savunuyordu. Bob, Alice'in uzaygemisiyle gidip döndüğünde kendisinden daha az yaşlanmış olması gerektiğini söylerken, Alice gidip geri gelenin Bob ve Dünya olduğunu savunuyordu, dolayısıyla daha az yaşlanan Bob olmalıydı.

Bu soruyu farklı yollardan incelemek mümkün. Surrey'de verdiğim üniversite dersinde öğrencilerimle farklı argümanlar üzerinden giderken çok eğleniyorum. İlk en basitine bakalım.

Daha önce de söylediğim gibi, doğru cevap, Bob'un haklı, Alice'in ise yanlış olduğu. Alice, döndüğünde kardeşinden daha genç olur. İlk başta durumlarının tamamen simetrik olmadığına dikkat edin. Alice'in Dünya'dan uzaklaşırken hızlanması lazım, sonra da, eğer düz bir çizgi halinde gidiyorsa, dönüş için yavaşlayıp, geri dönüp tekrar hızlanması ve Dünya'ya geri geldiğinde tekrar yavaşlaması lazım. Oysa Bob'un hızı hiç değişmedi. Alice hızını sabit tutmak için dairesel bir rota bile izlese sürekli yön değiştireceği için ivmelenmenin etkisini yine hisseder. Dolayısıyla ikizlerin bağıl hareketi tam anlamıyla simetrik değil: Alice yolculuğunun etkilerini hissederken Bob kendi çevresinde sakın sakın dönen Dünya'nın üstünde duruyor. Ama bu bize Alice'in niye daha az yaşlandığını söylemiyor elbette.

Soruya hızlanma ve yavaşlamaları işin içine katmadan bakmanın bir yolu var. Alice yolculuğa uzayda başlasın ve Dünya'nın yanından geçmeden önce hızını almış olsun. Dünya'nın yanından geçerken Bob'la saatlerini ayarlıyorlar. Sabit bir hızla dümdüz giderken bir noktada (bunun gerçekçi olmadığı ben de farkındayım ama idare edin), hızını hiç değiştirmeden anında yönünü değiştirip Dünya'ya doğru yol almaya başlıyor. Bu, fizikçilerin "ideal durum" dedikleri şey –uygula-

mada imkânsız ama yanlış bir sonuca götürmeden olayı basitleştirmemizi sağlıyor. Şimdi Alice'in kat ettiği mesafe için iki kardeşin ölçümlerine bakarak durumu inceleyelim; çünkü Alice'in daha az yaşlanmasını uzunluk kısalmasıyla açıklayabiliriz.

Bu durumu somut bir örnekle açalım. Alice'in dönüş noktası, Dünya'dan 4 ışık yılı uzaktaki Alfa Centauri olsun (aralarında 4 ışık yılı uzaklık olduğu için ışığın Dünya'dan Alfa Centauri'ye veya oradan buraya gitmesi 4 yıl sürer). Eğer Alice ışığın yarı hızında yolculuk ediyorsa, o zaman Bob bu yolun, ışığın gideceği sürenin iki katı, yani 8 yıl süreceğini hesap eder. Gidiş dönüş ise toplam 16 yıl sürer. Ancak Alice'e göre, hızının görelilik etkisinden dolayı (veya kendisinin sabit olduğunu ileri sürecek olursa, Alfa Centauri'nin kendisine doğru geliş hızının etkisinden dolayı) gittiği mesafe azalır. Alice'in gözünden gidiş-geliş zamanının (veya ona göre Dünya'nın gidiş-geliş zamanının) Bob'un gözlemlediğine oranla daha az olacağı açıktır; eğer yolu kısaltıysa, yolculuğun süresi de kısaltıldı demektir.

Gerçekte Alice yönünü bir anda geri çeviremez elbet; önce yavaşlayıp sonra dönmesi, ardından hızlanması gerekir. Burada, zamanı yavaşlatmanın diğer yöntemine bakmalıyız, yani genel göreliliğe. Peki ama burada kütleçekim etkisi nereden kaynaklanıyor? Örneğimizde Alfa Centauri'yi dönüş noktası olarak kullandık, fakat bu illa gerekli değil. Alice boş uzayda herhangi bir yerde geri dönebilirdi ve hiçbir kütleçekim alanıyla karşılaşmayabilirdi. İşte bu yüzden Einstein'ın son bir fikrine daha bakmamız gerekiyor.

Hayatının en mutlu düşüncesi

Hızlı bir arabanın veya uçakların ivmelenme etkilerini açıklarken neden g-kuvveti terimini kullandığımızı hiç düşündünüz mü? Yarış pilotlarının hızlanırken, frene basarken veya hızla köşeyi dönerken birkaç "g" hissettiğini söyleriz. Buradaki "g", "gravity"* sözcüğünün

* kütleçekim

g'sidir ve kütleçekimle ivmelenme arasındaki çok önemli bir bağı vurgular. Nasıl bir his olduğunu hepimiz biliriz. Kalkmak üzere olan bir uçakta pilot maksimum güç verince ilk başta motorların gürültüsünü duyarız, ardından havalanma öncesi yeterli hıza ulaşmak için pist boyunca ivmelenirken koltuğumuza doğru itiliriz. Kalkmadan önce kafanızı koltuğun baş kısmından ileri götürmeye çalışırsanız kafanızı geri ittiren bir kuvvet hissedersiniz. Bu direnç, yatağınızda yatarken kafanızın ağırlığının kafanızı yastığa doğru çekmesine çok benzer. Aslında uçak tam 1 g ile ivmelenirse his de tamamen aynı olur. İvme, yerçekiminin etkilerini taklit eder.

Einstein bu eşdeğerliği Genel Görelilik Kuramı'nı formülize etmesinden birkaç yıl önce fark etti. Bu eşdeğerliğe, yaratıcı olduğunu söylemenin zor olduğu "Eşdeğerlik İlkesi" adını verdi. Sonradan, bu kavrayışın, bu "evreka" anının, hayatının en mutlu düşüncesi olduğunu söyleyecekti. Bu bize hiçbir şeyi göstermese, bilime olan adanmışlığını gösterir. Cisimler serbest düşme halindeyken neler olduğu üzerine fikir yürütüyordu Einstein. Lunapark treni alçalırken deneyimlediğimiz ağırsızlık hissi bu eşdeğerliği en güzel şekilde gösterir, çünkü yerçekimine kendimizi bıraktığımız o kısa süre boyunca, Dünya'nın çekimini hissetmez oluruz. Aşağı doğru ivmelenişimiz yerçekimi hissini ortadan kaldırmıştır adeta.

Einstein, buradan yola çıkarak kütleçekimin uzay ve zaman üzerindeki bütün etkilerinin cisimler ivmelenirken de görüldüğünü açıkladı. Uzayda 1 g ile ivmelenen bir uzaygemisinde oturuyor olsaydınız, hissettikleriniz koltuğunuz Dünya'da arkası yere yatırılmış olarak dururken hissettiklerinizle aynı olurdu. Her iki durumda da koltuğun içine doğru aynı çekimi hissederdiniz. Bu çok can alıcı bir fikir, çünkü ivmenin de tıpkı kütleçekim alanı gibi zamanın akışını yavaşlatacağını ima ediyor. Ve gerçekte de olan tam olarak bu. Hızlandığınız ve yavaşladığınız süre boyunca üzerinizde oluşan etki, kendinizi kütleçekim alanına sokmakla eşdeğerdir ve Dünya'nın kütleçekiminin üstüne eklenir.

Şekil 6.2. Zamanı yavaşlatmak



Çember çizerek ışık hızına yakın koşmak zamanı yavaşlatır.

Nihayet İkizler Paradoksu'nu huzura kavuşturabiliriz. Alice'in Bob'dan daha az yaşlanmasının nedeni, hızlanan ve yavaşlayanın o olması. Bu yüzden Alice'in zamanı, doğrusal olarak gitse de gitmese de, genel göreliliğin öngördüğü üzere bu süreler boyunca daha yavaş akar. Aslına bakarsak, kıvrımlı bir yol boyunca ilerleyerek yönünü ne kadar çok değiştirirse, hızlanıp yavaşlamaları o kadar uzun sürer ve zaman o kadar yavaşlar.

Saatleri seyretmek

Burada durabiliriz sanırım. Sonuç olarak İkizler Paradoksu diye bir şey yok aslında, veya bazen daha yaratıcılıktan uzak bir ifadeyle denildiği gibi

“Saat Paradoksu” yok, çünkü uzay-zamandaki yolculuklar simetrik değil. Fakat yolculuk sırasında birbirlerine mesaj gönderme imkânları olsaydı acaba neler görürlerdi? Bu ilginç ve üzerinde kafa yormaya değer bir nokta.

Alice ve Bob kendi zamanlarına göre birbirlerine eşit zaman aralıklarında ışık sinyali gönderebilirler. Örneğin günde bir kez aynı anda birbirlerine ışıkla sinyal gönderseler ne olurdu? Alice Dünyadan giderken, birbirlerinden yüksek bir hızla uzaklaştıkları sırada, özel göreliliğin zaman üzerindeki etkileri yüzünden her ikisine de diğerinin sinyali 24 saatten daha uzun aralıklarla ulaşacaktır. Ayrıca buna ek olarak, her bir ışık atımı bir öncekinden daha uzun yol kat etmek zorunda olacağı için zamanın yavaşlamasının üstüne fazladan bir gecikme daha olur. Bu ikinci etki Doppler kaymasıyla aynı ilkeye dayanır (Doppler kayması, ışık veya ses olsun, hareket eden kaynakların ürettiği dalgaların frekansında –veya kalınlığında– değişikliğe yol açar.)

Bu durumda, Alice ne zaman yavaşlasa, hızlansa veya yön değiştirse, zaman daha da yavaşlar ve sinyallerinin arası daha çok açılır. Ama asıl ilginç dönüş yolculuğunda olanlar, çünkü daha önce her iki etki de ışık atımlarının gelişini geciktirerek aynı sonuca hizmet ederken bu sefer birbirleriyle mücadele ederler: ikizlerin yüksek bağıl hızları yüzünden her ikisi de diğerinin saatini kendisinininkinden daha yavaş çalışıyor olarak görür, fakat birbirlerine yaklaştıkça gönderdikleri ışık sinyallerinin katedeceği mesafe gittikçe *kısalacağından*, sinyaller bir araya sıkışmış olarak gelmeye başlarlar. Matematiksel hesaplar gösteriyor ki, bu sıkışma etkisi (atımların 24 saatten daha kısa aralıklarla varması) zamanın yavaşlaması etkisine baskın gelir ve birbirlerinin saatlerini hızlanmış olarak görürler. Tabii birbirlerinin hareketlerini de hızlanmış olarak görürler.

Ne olursa olsun, sonuçta Alice Dünya’ya Bob’dan daha az yaşlanmış olarak döner. Bu konuda söyleyebileceğimiz başka bir şey kaldı mı? Aslında evet. İşin en önemli noktasına asıl şimdi geldik. Eğer Dünya’da on yıl geçtiği halde Alice kendine göre bir yıl sonra döndüyse, geleceğe doğru dokuz yıllık bir zaman yolculuğu yapmış olmaz mı?

Züğürdün zaman yolculuğu

Çoğumuz zamanın yavaşlamasının gerçek bir zaman yolculuğu olmadığını savunacaktır. Sonuçta bunun insan metabolizmasını yavaşlatmaktan, hatta düşünecek olursak uyumaktan çok daha müthiş bir yanı olduğunu söyleyebilir miyiz? Uykuya dalsanız ve birkaç dakikalığına kestirdiğinizi sanarak uyansanız, ama saatinize bakınca aradan saatler geçtiğini görseniz, bu da bir tür geleceğe zaman yolculuğu sayılmaz mı?

Görelilikten kaynaklı zaman yavaşlamasının çok daha etkileyici ve gerçek bir zaman yolculuğu olduğunu savunuyorum, her ne kadar züğürt versiyonu olsa da. Geleceğe gerçek zaman yolculuğu dendiğinde, geleceğin bir yerlerde belli olduğu anlamı çıkar, şimdiki zaman gibi varlığı sözkonusudur ve bizim olası gelişimizi beklemektedir diye düşünebilirsiniz. Buradaki durum farklı. Burada olan şey, Alice'in uzakta olduğu süre boyunca Dünya'nın geleceğe akması. Onun için daha az zaman geçtiğinden dolayı Dünya'dakinden daha farklı bir zamanı takip ediyor o kadar. Bir bakıma, ileriye doğru hızlı oynatma tuşuna basıyor ve herkesten önce varıyor. Alice'in ne kadar geleceğe gitmek istediği tamamen gemisinin hızına ve uçuş rotasının ne kadar dönemeçli olduğuna bağlı.

O zaman burada asıl sormamız gereken soru şu: Alice Dünya'ya geri döndüğünde eğer gördüklerini beğenmezse, tekrar kendi zamanına dönebilir mi? Tabii bu durumda geçmişe zaman yolculuğu yapması gerekir, ki bu apayrı bir konu. Hatta öyle ki, bu mesele kitaptaki tek gerçek paradoksa yol açıyor. Bir sonraki bölümde bunu inceleyeceğiz.

YEDİ

Dede Paradoksu

*Geçmişe gidip dedenizi öldürmeniz hiç
doğmayacağınız anlamına gelir*

ZAMANDA GEÇMİŞE GİDİP dedeniz daha anneannenizle tanışmamışken dedenizi öldürürseniz, anneniz asla doğmazdı, tabii siz de doğmazdınız. Ama siz doğmazsanız, dedenizi öldüremezsiniz ve böylece dedeniz anneannenizle tanışabilir, o zaman da *siz* doğarsınız, zamanda geri giderek dedenizi öldürürsünüz, vs. Bu sav kendisiyle çelişen bir kısırdöngü içinde sonsuza kadar gider. Görünüşe bakılırsa dedenizi öldüremezsiniz, çünkü böyle bir işe kalkışmak için varolmanız gerekir.

Bu klasik zaman yolculuğu paradoksunun bir sürü başka versiyonu daha var. Ayrıca neden anne veya babamızı değil de dedemizi öldürdüğümüze dair hiçbir fikrim yok –belki de araya bir kuşak koymak olayı daha az korkunç yapıyordur. Bu kadar acımasız olması gerekmez aslında; sadece paradoksun geleneksel ifadesi böyle olmuş. Örneğin çok daha merhametli bir versiyonu şu şekilde: bir zaman makinesi yapıyoruz ve kendi geçmişimize gidip makineyi daha kullanmadan imha ediyoruz. Böylece artık geçmişe gidip zaman makinesini imha edemiyoruz.

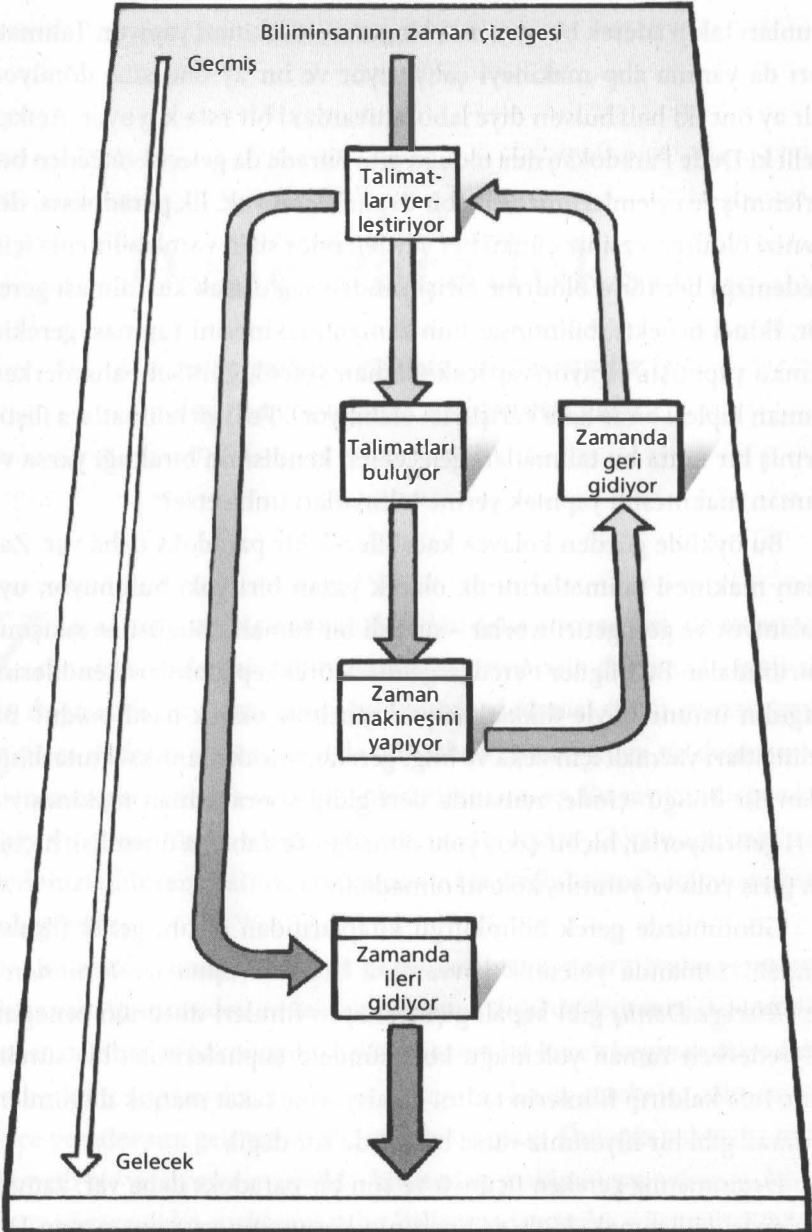
Paradoksu farklı bir yoldan daha ifade edebiliriz. Bir biliminsanı laboratuvarında bir rafta zaman makinesi yapma talimatları buluyor. Bunları takip ederek bir ay sonra bir zaman makinesi yapıyor. Talimatları da yanına alıp makineyi çalıştırıyor ve bir ay öncesine dönüyor. Bir ay önceki hali bulsun diye laboratuvardaki bir rafa koyuyor. Açıkça belli ki Dede Paradoksu'nda olduğu gibi burada da gelecek önceden belirlenmiş ve eylemlerimizde hiçbir özgür seçim yok. İlk paradoksta, dedenizi öldüremezsiniz çünkü her şeyden önce sizin varolabilmeniz için dedenizin her türlü öldürme girişiminden sağ olarak kurtulması gerekir. İkinci örnekte, biliminsanının zaman makinesini yapması gerekir, çünkü yapmıştı/yapıyor/yapacak (zaman yolculuğundan bahsederken zaman kipleri biraz kafa karıştırıcı olabiliyor). Peki ya talimatlara iliştiirmiş bir notta bu talimatları gelecekte kendisinin bıraktığı yazsa ve zaman makinesini yapmak yerine talimatları imha etse?

Bu öyküde gözden kolayca kaçabilecek bir paradoks daha var. Zaman makinesi talimatlarını ilk olarak yazan biri yok: bulunuyor, uygulanıyor ve geri getiriliyorlar –sürekli bir zaman döngüsüne sıkışmış durumdalar. Bu bilgiler nereden geldi? Mürekkep atomları kendilerini kağıdın üstüne böyle dikkatlice yerleştirilmiş olarak nasıl buldu? Bu talimatları yazmak için zekâ ve bilgi gerekir, ancak mantıksal tutarlılığı olan bir döngü içinde, zamanda ileri gidip sonra zaman makinesiyle geri getiriliyorlar, hiçbir çıkış yolu olmadan ve daha da önemlisi, hiçbir ilk giriş yolu ve yaratılış kökeni olmadan.

Günümüzde gerek bilimkurgu kitaplarından olsun, gerek filmlelerinden, zamanda yolculuk kavramına hepimiz aşinayız. *Terminatör* ve *Geleceğe Dönüş* gibi kapalı gişe oynayan filmleri düşünün örneğin. Seyrederken zaman yolculuğu konusundaki şüphelerimizi bir süreliğine rafa kaldırıp filmlerin tadını çıkarıyoruz, fakat mantık düğümleri aramak gibi bir niyetimiz varsa bu hiç de zor değil.

Değınmemız gereken üçüncü ve son bir paradoks daha var: zaman makinesi kullanmak, kütle ve enerjinin korunumu yasasını çığner. Diyelim ki zaman makinesiyle beş dakika öncesine gittiniz. Bu durumda

Şekil 7.1. Zaman yolculuğu paradoksu



kendinizden aynı anda iki tane olur. O anda, bedeniniz birden beliriverdi ve Evren'e fazladan kütle eklenmiş oldu. Dikkat edin; atomaltı parçacık fiziğinde "çift oluşumu" diye adlandırılan olguya benzemiyor burada bahsettiğimiz şey. Çift oluşumunda bir parçacık ve anti-madde eşi (bir bakıma aynadaki görüntüsü) saf enerjiden oluşturulabilir. Buradaysa sizin varışınızdan önce ortada bulunan, aniden ortaya çıkışınızın bedelini ödeyebilecek fazladan bir enerji yok. Fiziğin temel öğretilerinden biri olan, "yoktan bir şey varedilemez" diyen Termodinamiğin Birinci Yasası'nı gerçekten çiğniyoruz burada.

Bazıları bu tutarsızlıkların içinden sıyrılmak için zaman yolcusunun geçmişteki olaylara müdahale edemeyeceği, sadece gözlemci olarak orada bulunabileceği fikrini önerdiler. Bu görüşe göre geçmişe giderek, bir filmi içine girip de seyredermişçesine diğerlerine görünmeden olayları seyredebiliriz. Her ne kadar paradokslardan sıyrılmış izlenimi uyandırsa da, bu tür bir edilgen zaman yolculuğu ne yazık ki daha bile olanaksızdır. Neden dersiniz, geçmişe gittiğinizde olayları seyrederken yapacağınız üzere bir şeyi görebilmeniz için, fotonların (ışık parçacıklarının) gözlemlenen cisimden gözünüze ulaşması gerekir. Ardından bu fotonların retina üzerine düşerek, yorumlanması için beyine gönderilen sinir sinyallerini tetikleyen bir dizi kimyasal ve elektriksel olayı başlatabilmeleri gerekir. Bu fotonlar zaten gözlemcinin baktığı şeylerle son derece gerçek bir şekilde etkileşim halinde bulunmuş ve gözlemcinin gözlerine bilgi taşımış olur. Hatta mikroskobik boyutta bakacak olursak, gözlemcinin bir şeye dokunabilmesi, hissedebilmesi ve geçmişle etkileşebilmesi için çevresiyle foton alışverişinde bulunması gerekir, çünkü gerçek dünyada iki cisim arasındaki hemen hemen her türlü temas, temel düzeyde, foton değişimi içeren bir elektromanyetik etkileşimle gerçekleşir. Çok teknik ayrıntılara girmek istemiyorum fakat özetle şunu söyleyebiliriz: eğer bir şeyi görebiliyorsak, o şeye dokunabilmemiz de mümkün demektir. Dolayısıyla eğer geçmişe gidip gözlem yapabiliyorsak, her türlü etkileşimde bulunabilmemiz, olaylara tamamen dahil olabilmemiz gerekir.

Geçmişe burnumuzu sokmaktan kaynaklanan paradokslardan sakınmak istiyorsak başka bir yöntem bulmamız gerekiyor.

Geçmişe nasıl gidilir?

Geçmişe gitmenin temelde iki yolu var. Birincisi zamanda *geriye* doğru bilgi göndermek. Bu tür zaman yolculuğu, bilim-kurgu yazarı Gregory Benford'a 1980 yılı romanı *Timescape* için ilham kaynağı olmuştur. Romanda araştırmacılar, yaklaşmakta olan ekolojik felaket hakkında uyarmak için 1998'den 1962'ye mesaj gönderirler. Bunu yapmak için, varlığını Einstein'ın görelilik matematiğinin öngördüğü, fakat sahip olduğu özelliklerin garipliğinden dolayı günümüzde sadece bilim-kurgu sayfalarında kendine yer bulabilen "takyon" adındaki varsayımsal atomaltı parçacıkları kullanırlar. Takyonlar 1960'larda, yani daha henüz ciddi araştırma konularının dışına itilmedikleri bir dönemde, adlarını Yunanca "hızlı" anlamına gelen *tachys* sözcüğünden almışlardır. Ne de olsa takyonlar, ışıktan daha hızlı hareket eden parçacıklardır. Bu özelliklerinden dolayı zamanda geriye doğru gitmeleri gerekir.

Bu çıkarım, İngiliz-Kanadalı biyolog Reginald Buller'ın 1923'te *Punch* dergisinde yayınladığı esprili ve ünlü bir şiirde şöyle dile getirilmiştir:

Işık bile yavaş kalırdı yanında
Genç ve güzel Parlak Hanım'ın
Birgün dolaşmaya çıktığında
Görelî bir biçimde
Döndü evine bir önceki gece

Böyle bir şeyin neden ve nasıl olduğu konusuna ileride değineceğiz.

Geçmişe dönmenin diğer yolu, uzay-zamanda döngüsel bir yoldan –rollercoaster spiralini aşar gibi– önceki bir zamana gitmektir. Bu sırada zaman yolcusuna zaman normal hızıyla akıyor gibi gö-

zükür (örneğin saati normal hızda ilerler). Fizikte “kapalı zamansal eğri” adı verilen bu döngüler, son yıllarda ciddi kuramsal araştırmalara konu oldular.

Takyonlara ve kapalı zamansal eğrilere değinmemden anlayabileceğiniz üzere, zaman yolculuğu paradokslarını es geçme niyetinde değilim. Bu çok kolay olurdu. Zamanda geleceğe yolculuktan farklı olarak, geçmişe yolculuğun mantıksal açıdan imkânsız olduğunu söyleseydik bu bölüm bayağı bir kısalırdı. Bunun yerine, şu ana kadar karşılaştığımız bu en zorlu bilimsel paradoksları, fiziğin bugün için anlayabildiğimiz yasalarının izin verdiği çerçeve içinde çözümlemeyi deneyeceğiz. Belki sizi şaşırtabilir ama bunları ciddiye almamın nedeni şu: geçen yüzyılın ortalarından beri biliyoruz ki Einstein’ın görelilik kuramları, belirli özel koşullar altında, sırf matematiğin antikalıklarından dolayı bile olsa, geçmişe yolculuğa izin veriyor. Özel Görelilik Kuramı, birinci tür zaman yolculuğunun (ışıktan hızlı yolculuk ederek “ters nedensellik” ilişkisi kurulması) nasıl mümkün olabileceğini gösterirken, Genel Görelilik Kuramı ise zamansal eğriler aracılığıyla diğer, daha “geleneksel” zaman yolculuğunun nasıl mümkün olabileceğini gösterir. 1940’larda Princeton’da Einstein’la çalışan mantıkçı Kurt Gödel, bu tür bir zaman yolculuğunun en azından kuramsal açıdan hiçbir doğa yasası çiğnenmeden mümkün olduğunu matematiksel yollardan gösterdi –tabii bizim burada bahsettiğimiz paradoksal durumları saymazsak. Bu yüzden eğer Einstein’ın itibarını kurtarmak istiyorsak, bu paradokslarla doğrudan yüzleşmeliyiz.

Işıktan daha hızlı

Gelin önce ışıktan hızlı gitmenin neden zamanda geriye gitmek anlamına gelebileceğini anlayalım. Bunun için, 5. bölümde karşılaştığımız ahırdaki sırık örneğini kullanacağız. Hatırlayacak olursak, ahırın içinde otururken, elinde uzunluğu büzülmüş sıırığıyla atlamacının ışık hızına yakın bize doğru geldiğini görüyoruz. Bize göre sırık ahırdan daha kısa

olduğundan, bir anlığına hem ön, hem de arka kapıyı kapatarak sıığı ahırın içine hapsedebiliriz. İlke olarak, sıığın arka ucu içeri girer girmez, henüz daha arka kapıyı *kapatmamışken* ön kapıyı kapatabiliriz; sıık ahırdan daha kısa olduğundan sıığın arka ucunun içeri girmesi (ve ön kapıyı üstüne kapatmamız) ile sıığın ön ucunun arka kapıya ulaşması (ve çarpmasını diye arka kapıyı açmak zorunda olmamız) arasında kısa bir zaman aralığı olacaktır. İşte bu kısa zaman aralığında arka kapı kapalı kalabilir. Uzun lafın kısıası, bizim referans sisteminize göre önce ahırın ön kapısını, ardından arka kapısını kapatmak mümkündür.

Peki ya arka kapının kapanması, öncesinde ön kapının kapanmasıyla tetikleniyorsa? Bu durumda olayların değişmez bir sıralaması var artık: ön kapı kapandığı *için* (“neden”) arka kapı kapanıyor (“sonuç”). Burada olduğu gibi nedenin sonuçtan önce gelmesi zorunluluğuna “nedensellik” denir ve doğadaki ana ilkelerden biridir. Sonucun nedenden önce geldiği görülürse nedensellik ilkesi çiğnenmiş demektir ve her türlü mantıksal paradoksun önu açılır. Örneğin ışığın düğmesini tık diye açarsam, yaptığım hareket “neden”, odanın aydınlanması “sonuç” olur. Fakat diyelim ki yanımdan ışık hızına yakın geçen bir başka gözlemci, ben düğmeye basmadan ışığın yandığını görüyor. O zaman, ilke olarak, ışığın yandığını gördükten *sonra* düğmeye basmamı engelleyebilir. Çünkü “eşzamanlılığın göreliliği” ilkesine göre, birbirlerine göre ışık hızına yakın hareket eden iki gözlemci, sadece olaylar arasındaki süreleri farklı görmekle kalmaz, eğer olaylar zaman açısından birbirine yeterince yakınsa, bazen sırasını da ters dönmüş görürler. Sinyallerin ışıktan daha hızlı gidebildiği senaryolarda bu tür ters nedensellik paradokslarının doğması kaçınılmazdır.

Bunu daha açık görebilmek için, ahırdaki sıık örneğine geri dönelim. Hatırlayacak olursak, atlamacı sıığın içine sığmasının mümkün olmadığı, büzülmüş bir ahır görüyordu. Onun referans sistemi de ahırın içinde duran sizinki kadar geçerli. Ve ona göre iki kapının kapanışı belirli bir sıra takip etmek zorunda: önce arka kapı kapanmalı, ardından sıığın önünün dışarı çıkması için, *ön kapı kapanmadan önce* tekrar açılmalı.

Ancak olaylar bu sırayı takip ederse sırk ahırdan hiçbir yere çarpmadan geçebilir ve iki kapı da bir ara kısa süreliğine kapanabilir. Fakat eğer arka kapı yalnızca ön kapı kapandığında özel bir sinyal olarak kapanıyorsa, atlamacı olayları ters sırada görecek ve sonuç nedenden önce gelecek demektir. Ortada ciddi bir sorun var.

Ne olursa olsun, görelilik kuramı tüm bunları kusursuzca, üstelik sağlam matematikle desteklenerek açıklamayı başarıyor. Aşağıdaki senaryoyu düşünün. Dünya'da bir düğmeye basıldığında Ay'da bir ışığın yanıp söndüğü bir deney hazırlayalım. Işık Dünya'yla Ay arasındaki mesafeyi kat etmesi yaklaşık 1,3 saniye sürer. Dolayısıyla eğer sinyali-miz Ay'a ışık hızında gidiyorsa, teleskobumuzdan baktığımızda düğmeye bastıktan 2,6 saniye sonra Ay'daki ışığın parladığını görürüz (sinyalin Dünya'dan Ay'a gitme ve ışığın Ay'dan Dünya'ya gelme sürelerinin toplamı). Peki ya sinyali ışıktan daha hızlı gönderebilsek ne olurdu? Eğer parıltıyı sadece 2 saniye sonra görürsek, düğmeye basmamızla ışığın parlaması arası sadece 0,7 saniye ($2 - 1,3 = 0,7$) sürmüş demektir. Uzaktan bakıldığında her şey normalmiş gibi gözükse de, görelilik kuramı doğada böyle bir şeye izin verilmeyeceğini bize söyler.

Kendinizi buna tam anlamıyla ikna etmek için hesaplamaları bizzat yapmanız gerekir –ya da benim sözüme güveneceksiniz. Ay'a ışık hızına yakın giden birine göre, Ay'da ışığın parlaması, siz Dünya'da düğmeye basmadan önce olur. O zaman size ışıktan hızlı bir sinyal de onlar göndererek Ay'daki parıltıyı gördüklerini bildirebilirler. Bu sinyal size zamanda geçmişe doğru gidiyor gibi gelir ve siz *daha düğmeye basmadan* size ulaşabilir. O zaman da düğmeye basmaktan vazgeçebilirsiniz. Böyle bir senaryodan kaçınmanın tek yolu, ışıktan hızlı sinyal olabileceğini reddetmektir.

Fizikçilerin hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı gidemeyeceğine inanmalarının nedenlerinden biri bu. Eğer böyle bir şey olabilseydi gerçek bir paradoks doğardı. Bu durumun birinci tür zaman yolculuğunu imkânsız kıldığını savunuyorum.

Peki ya uzay-zamanda takla atan zamansal eğriler fikri?

Blok evren

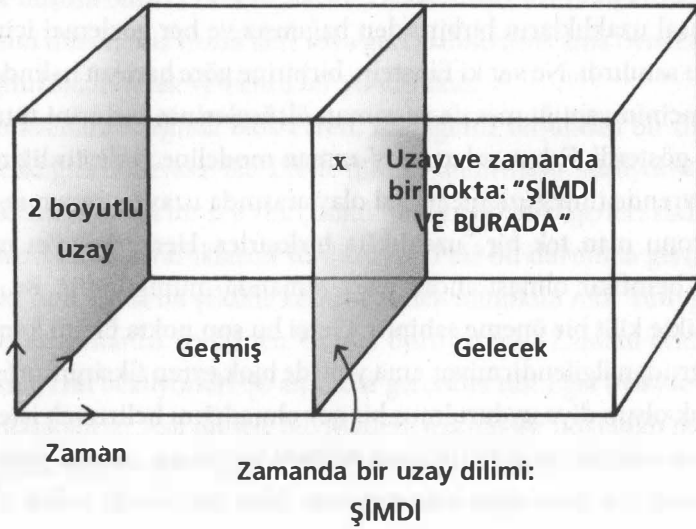
Uzay-zaman yollarını gözünüzde daha iyi canlandırabilmeniz için “blok evren” kavramını tanıtmak istiyorum. Blok evren, uzayı ve zamanı bir bütün halinde resmedebilmenin basit ama derin bir yoludur.

Evren’in dev bir dikdörtgen kutu olduğunu hayal edin. Buna zamanı yeni bir boyut olarak eklemek istersek ne olur? Bu bize “blok evren” adıyla bilinen dört boyutlu hacme sahip uzay-zamanı verir. Fakat dört boyutu gözümüzde canlandıramadığımızdan dolayı, eğer uygulamada herhangi bir fayda sağlamasını istiyorsak bu resmi basitleştirmemiz gerekiyor. Bu yüzden uzayın üç boyutundan birini kurban etmek zorundayız. Üç boyutlu hacmi bastırarak iki boyutlu bir düzleme dönüştürdüğümüzü hayal edin. Bu düzlem, blok evren kutusunun bir yüzeyi, veya bir yanı olsun. Bu durumda bu yüzeye dik olarak soldan sağa doğru giden boyut (üçüncü boyut) zaman eksenini kullanılabilir. Dilimlenmiş dev bir somun eklemek düşünün. Her bir dilim, bütün uzayın anlık bir fotoğrafıdır. Ardışık dilimlerse ardışık zamanlara karşılık gelir. Tabii aslında uzay iki değil, üç boyutlu; bu yüzden modelimiz gerçeği tam doğru yansıtmıyor, ama zaman eksenini görselleştirmemizi sağlıyor. Şekil 7.2’de bu modelin, blok evreni gözümüzde canlandırmamızı nasıl kolaylaştırdığını görüyoruz.

Bu resmin güzel yanı, herhangi bir anda herhangi bir yerde olan bir olayı nokta ile gösterebiliyor olmamız (Şekil 7.2’de x ile belirtilen nokta). Daha da önemlisi, artık bütün zaman gözlerimizin önüne serilmiş durumda –bir zaman manzarası– geçmiş ve gelecekteki tüm olayların bir arada varlığını sürdürdüğü, zamansız, durağan blok evren.

Peki ama bunun gerçeklikle bir ilişkisi var mı yoksa faydalı bir görsel modelden mi ibaret? Örneğin bu durağan uzay-zaman modeliyle zamanın gerçek “akışı” arasında nasıl bir bağ kurulabilir? Fizikçilerin bu soruya iki bakış şekli var. Sezgilerimiz bize, “şimdi”nin bir uzay dilimi olduğunu söylüyor; bu dilimin solundaki bölge evrenin önce-

Şekil 7.2. Blok evren



ki zamanlarına, sağındaki bölge gelecek zamanlarına karşılık geliyor. Geçmiş, şimdi ve gelecek bütün zamanların ve bütün varlığın donmuş bir şekilde gözlerimizin önüne serili olduğu bu manzarayı, kendimizi asla evrenden soyutlayamayacağımızdan dolayı asla gerçek hayatta göremez ve deneyimleyemeyiz. Bizim “şimdi”miz, film kareleri gibi bir andan bir sonraki ana, bir ekmek diliminden bir sonraki dilime atlayarak soldan sağa ilerler.

Diğer seçenek, şimdiki zaman kavramını hepten dışlamaktır. Böylece geçmiş, şimdi ve gelecek aynı anda varlıklarını sürdürürler; olmuş ve olacak tüm olaylar blok evrende yanyana dururlar. Bu resimde gelecek önceden belirli olmanın ötesinde, gözler önünde öylece durmaktadır ve geçmiş gibi değişmez bir şekilde sabittir.

Aslına bakarsak bu kullanışlı bir görselliğin çok daha ötesindedir. Gerçek Evrende Einstein’ın görellik kuramının açıkladığı şekliyle uzay ve zamanın iç içe örülmüş doğasını yansıtır. A ve B gibi iki ayrı olay

olsun. A, B'den daha önce ve farklı bir yerde meydana gelsin, aralarında nedensellik ilişkisinin olup olmaması önemli değil. Einstein'dan önceki uzay ve zaman anlayışımıza göre, A ve B olayları arasındaki uzaysal ve zamansal uzaklıkların birbirinden bağımsız ve her gözlemci için aynı olduğu sanılırdı. Ne var ki Einstein, birbirine göre hareket halindeki iki gözlemcinin yaptığı mesafe ve zaman ölçümlerinin birbirini tutmaya-çağını gösterdi. Fakat onları uzay-zaman modeline yerleştirdiğimizde, blok evrende tüm gözlemciler iki olay arasında uzay ve zamanın kombinasyonu olan tek bir “uzaklık”ta birleşirler. Herkesin aynı mutlak sayıda hemfikir olması ancak uzay-zamanda mümkündür. Bu nokta görelilikte kilit bir öneme sahiptir. Gerçi bu son nokta bizim konumu-zu doğrudan ilgilendirmiyor ama yine de blok evren fikrinin sırf görsel kolaylık olsun diye uydurulmuş bir şey olmadığını belirtmek istedim.

Blok evrende tüm zamanların birlikte varolması, zaman yolculuğu kavramını çok daha olası hale getiriyor. Eğer geçmişteki belirli bir ana yolculuk edebilirsek, o insanların gözünde, gelecek zamandan onların “şimdi”sine gelmiş oluruz. Zaten bizim “şimdi”mizin onlarınkinden daha özel olduğunu neye göre söyleyebiliriz ki? Bizim şimdiki zamanımız gerçek “şimdi” olduğunu iddia edemeyiz, ne de olsa benzer şekilde bizim geleceğimizden de zaman yolcuları bizi şimdiki zamanımızda ziyarete gelebilirler; onlara göre, biz geçmiş zamandayız. Dolayısıyla hem geçmiş, hem de geleceğimizin, daha doğrusu tüm zamanların, aynı anda ve eşit gerçeklikte varolmaları gerekir. Blok evren modelinin söylediği de tam olarak budur.

Blok evrende zaman yolculuğu

Esasen zamanın “akması”nın tam anlamıyla ne demek olduğunu kimse bilmiyor, ki tabii eğer akma diye bir şey gerçekten varsa. Fakat en azından bir yön, bir zaman oku atayabiliriz. Olayların sırasını tanımlayabileceğimiz anlamına gelen soyut bir kavram bu. Zaman oku, geçmişten

geleceğe doğrudur, öncekilerden sonrakilere doğru. Zamanda olayların oluş yönüdür. Termodinamiğin İkinci Yasası'nın bize bir dayatması olarak düşünebiliriz. DVD-çaların "oynat" tuşu üzerindeki oka benzer; filmi dilediğiniz hızda ileri veya geri alabilirsiniz ama oynat tuşuna bastığınızda, film tek ve belirli bir yönde akar.

Bu kısıtlama dışında blok evren, istediğimiz bir andan bir diğerine atlayabildiğimiz devasa bir DVD filmini andırmaya başlıyor. Gerçek şimdiki zaman diye bir şey yok çünkü filmin her anı diğerleri kadar gerçek; hepsi birlikte varlıklarını sürdürüyor. Peki bu durumda gerçek Evren'deki zamanı da bu şekilde kontrol etmek mümkün mü? Tüm geçmiş ve gelecek zamanlar gerçekten "orada" duruyor mu? Zamanı geldiğinde yaşanmayı mı bekliyorlar? Şu an kadar gerçekler mi? Eğer öyleyse onlara nasıl ulaşabiliriz? Asıl mesele bu. Madem uzayda bir noktadan bir diğerine gidebiliyoruz, niye aynı şeyi zamanda da yapamayalım?

Zaman yolculuğu paradokslarına olası bir çözüm

Fizikçiler kuramların öngörülerini sınamakta zorluklarla karşılaştıklarında, bazen "düşünce deneyi" denilen yöntemle başvururlar. Düşünce deneyleri, fizik kurallarını çiğnemeyen, fakat laboratuvarında gerçek deneyini yapmanın çok güç veya fazla varsayımlara dayalı olduğu durumlarda kullanılan idealize edilmiş hayali senaryolardır. "Bilardo masası zaman makinesi" bunlardan biridir. Bunun sayesinde, eğer bir şey zamanda geçmişe gidip kendisiyle karşılaşırdı ne olurdu sorusuna cevap arayabiliriz. Matematiğin böyle bir durum için öngörüsü nedir?

Deney şu: Bir bilardo topu, bilardo masasının cebine giriyor. Cep, bir zaman makinesi aracılığıyla fırlatma mekanizması olan bir başka cebe bağlı. Top ilk deliğe girdiğinde ikinci delikten, daha önceki bir zamanda masaya geri fırlatılıyor. Bu durumda topun, deliğe girmeden önceki haliyle çarpışması olasılığı doğuyor.

Bu düşünce deneyinde en baştan sadece paradoks yaratmayan durumlara izin vererek belirli bazı paradoksları kolayca önleyebiliriz. Fizikçiler bunlara “tutarlı çözüm” diyorlar. Örneğin bir top geçmişe gidip, diğer cepten fırlayıp, kendisinin eski haline çarparak onu deliğe sokabilir ve böylece zamanda geri gitmesine neden olacak olayı başlatabilir. Ancak örneğin, topun cepten fırlayıp önceki haliyle çarpıştığı, ama eski halini tekrar cebe sokamadığı duruma izin verilmez, çünkü bu durum paradoksa yol açar.

Tüm zaman yolculuğu paradokslarının altında yatan fikir şudur: bizim Evrenimizde geçmişin tek bir versiyonu vardır. Bu geçmiş zaten olmuştur ve artık değiştirilemez. İlke olarak, geçmişe yolculuk edebilir ve tarihe dilediğimiz kadar müdahale edebiliriz, yeter ki yaptığımız şeyler olayların eskiden sonuçlanmış olduğu şekilde sonuçlanmasına neden olsun. Evren’in ayrılmaz bir parçası olduğumuz ve geçmişimizde olayların nasıl meydana geldiğiyle ilgili anılar taşıdığımız için tarihin akışını asla değiştiremeyiz. Özetle, olan olmuştur.

Hatta tıpkı bilardo masası zaman makinesinde olduğu gibi, zaman yolcusu geçmişe gidip de olaylara müdahale ettiği için olayların bu şekilde sonuçlandığı senaryolar bile üretmekte serbestiz.

Peki yalnızca “tutarlı çözümler”e izin vermekte diretince *tüm* zaman yolculuğu paradokslarını çözümlemiş olduk mu? Cevap su götürmez bir “hayır”. Yüzeysel bakınca cazibeli görünüyor: geçmişe gidip kendinizin genç haliyle karşılaşabilirsiniz, fakat yalnızca kendi geçmişinizde yaşlı haliniz zaman yolculuğu yapıp sizinle karşılaşmışsa. Eğer karşılaşmadıysanız, o zaman asla karşılaşmayacaksınız demektir. Benzer şekilde, daha vahşi olan Dede Paradoksu’ndaki örnekte, dedenizi öldüremezsiniz çünkü (nedeni her ne olursa olsun) başarısız olacaksınız, doğup zaman yolcusu olmanızdan belli.

Fakat bahsettiğimiz diğer paradokslardan kurtulmuş değiliz hâlâ; örneğin hiç yazılmamış olduğu halde zaman döngüsüne takılmış olan zaman makinesi talimatları. (Bu örnekteki tek çıkış yolu şu olabilir: Biliminsanının genç hali talimatları bulur, hiç incelemeden imha eder,

sonra zaman makinesi yapmanın yolunu kendi kendine bulup talimatlar halinde bir kağıda yazar, zaman makinesine binip geçmişe gider ve rafa koyar. Dikkat edin, bilimsani kağıttaki talimatlara bakıp sonra imha ederse yine olmaz, çünkü kağıttaki talimatların bilgisi zaman döngüsüne yine sıkışmış olur.)

Son bir nokta olarak, tutarlı çözümler argümanı Termodinamiğin Birinci Yasası'nın çiğnenmesini yine açıklamıyor. Zaman makinesi ve içindekiler geçmişe gittiklerinde, gelecekte "ödünç alınmış" olsalar bile, sonuçta Evren'in kütle ve enerjisine o anda ekleniveriyorlar.

Gerçek zaman yolculuğu için çoklu-evren gerekir

Zaman yolculuğu kuramlarının çoğuna bakmış olduk. Şimdiyse geçen yüzyılda kuramsal fizik alanından çıkan en garip, fakat aynı zamanda en kayda değer fikirlerden birine bakacağız: paralel evrenler fikri. Kuantum dünyasının pek çok tuhaf çıkarımı vardır. Örneğin atom aynı anda birden fazla yerde olabilir; nasıl incelemeye karar verdiğimizize bağlı olarak hem küçük bir "yerleşmiş parçacık" gibi, hem de "yayılmış dalga" gibi davranabilir; iki parçacık, Evren'in iki farklı ucunda olsalar bile birbirleriyle anında haberleşebilirler, vs. Paralel evrenler fikri, işte bu tuhaf çıkarımların bir kısmını açıklayabilmek amacıyla ortaya atılmıştı. Bu tür olgular kendi başlarına birer paradoks gibi görünebilir, zaten biz de dokuzuncu bölümde Schrödinger'in Kedisi'yle tanışınca bunlara tekrar döneceğiz. Ancak paralel evrenler kuramının şu an için ilginç olan yanı, zaman yolculuğunun olasılıkları hakkında bize söyledikleri.

İlk dile getirilişinde paralel evrenler fikri, kuantum mekaniğinin "çoklu dünyalar yorumu" olarak bilindi. Buna göre atomaltı parçacık iki veya daha fazla seçenekle karşılaştığı anda, bütün evren parçacığının önündeki seçenek sayısı kadar paralel gerçekliklere bölünür. Bu görüşe göre sonsuz sayıda evren vardır ve bu evrenler ne kadar zaman önce bizim içinde bulunduğumuz evrenden ayrıldıklarına bağlı olarak bi-

zimkinden küçük veya büyük farklılıklar gösterir; üstelik her biri bizimkisi kadar gerçektir. İlk bakışta çılgınlık gibi gözükse de, kuantum fiziğinin bundan aşağı kalmayan çılgın çıkarımlarının yanında, en az onlar kadar geçerliliğe sahiptir.

Çoklu dünyalar yorumu on yıllar boyunca fizikte bir merak konusu ve bilim-kurgu malzemesi olarak kaldı. Bugüne kadar paralel evrenlerin gerçekten varolduğuna dair hiçbir deneysel kanıt bulunmadı. Üstelik diğer dünyalarla bağlantı kurma şansımız da yok. Tüm bu diğer dünyalar ve boyutların biraraya sığması imkânsız gelebilir. Sonuçta sırf bizim Evrenimizin bile sonsuz olması mümkün. O zaman diğerleri nerede? Bunları, üst üste çakışan blok evrenler olarak düşünmek gerekir. Hepsi aynı zaman eksenini paylaşıyor ama her birinin kendi uzaysal boyutları var. Bir arada, üst üste varlıklarını sürdürüyorlar fakat kuantum seviyesinin dışında birbirleriyle etkileşmiyorlar.

Evrenlerin birbirinden kollara ayrıldığı çoklu dünyalar fikri, sonradan kendini daha gelişkin “Kuantum çoklu-evreni” kuramına bıraktı. Bu fikre göre, evren durmadan kendi kopyalarına ayrılmaz; zaten üst üste çakışan ve birlikte varlığını sürdüren, herbiri diğerleri kadar gerçek olan sonsuz sayıda evren önceden vardır. Blok evrenimiz bir anda ne kadar da kalabalıklaşıverdi. Bu fikrin, sabit ve durağan tek bir blok evren fikrine göre bazı avantajları var. Tüm olası geleceklerin bir anda önü açılmış oldu. Özgür irademiz olduğunu tekrar iddia edebiliriz artık. Yaptığımız seçimlerle kendimize tüm olası uzay-zamanlar arasından bir yol çizeriz; bizim Evrenimizi tanımlayan da bu yol seçimlerimiz olur. Önümüzde açık duran sonsuz seçim, çoklu-evrende bir arada varolan sonsuz sayıdaki evreni temsil eder.

İşte şimdi gerçek zaman yolculuğu mümkün hale geldi, çünkü uzay-zamanımız sonsuz gelecekte ve sonsuz farklı geçmişten sadece birini içerir. Çoklu-evrende geçmişe yolculuk etmek, geleceğe doğru normal yaptığımız gibi gitmekten farklı değildir –nasıl ki önümüzde pek çok gelecek varsa, ziyaret edebileceğimiz de pek çok geçmiş vardır. Zaman yolculuğu yapmak demek, bu olası geçmişlerden birine giden zaman döngüsünü

takip etmek demektir. Fakat bu durumda, geçmişe giden zamansal eğri neredeyse kaçınılmaz olarak bizi yakındaki bir paralel evrenin geçmişine kaydıracaktır. Şöyle düşünün, hayatınızı baştan yaşayabilseydiniz ve aynı şekilde davranıp aynı seçimleri yapmaya çalışsaydınız, ne kadar uğraşırsanız uğraşın, bir şeyler mutlaka farklı olurdu –illa sizin daha farklı seçimler yapmış olmanız gerekmiyor, başka bir yerde başka bir şeyin uzay-zamanda farklı bir yol izlemiş olması geleceği değiştirmeye yeter– o zaman siz de kendinizi daha farklı bir gelecekte bulurdunuz. Geçmişe zaman yolculuğunda da aynı şey olur: Kendinizi asla kendi evreninizin geçmişinde bulamazsınız, çünkü bu aşırı düşük bir olasılık da ondan. Çok ama çok büyük bir olasılıkla sizinkinin neredeyse tamamen aynısı olan bir evrenin geçmişine kayarsınız. Doğrusu, Evren'in karmaşıklığını göz önünde bulundursak, geçiş yaptığınız yeni evreni aslından ayırmanız neredeyse imkânsız olurdu –ta ki müdahale ederek ortalığı karıştırmaya başlayana dek.

Bir kez vardıktan sonra artık geçmiş i istediğiniz gibi değiştirmekte serbestsiniz, çünkü artık sizin geçmişiniz değil o. Geçiş yaptığınız paralel evrendeki olayların mutlaka sizin kendi evreninizdeki gibi gelişmesi gerekmiyor. Yalnız şunu da aklınızdan çıkarmayın, o kadar çok evren var ki, kendi evreninize bir daha geri dönme olasılığınız neredeyse imkânsız.

Şimdi gelin çoklu-evren kuramının Dede Paradoksu'nu ve diğer zaman yolculuğu paradokslarını nasıl çözümlediğine bakalım. Özgün paradoksumuzdan başlayalım. Artık vardığınız yeni evrende dedenizi öldürebilirsiniz (gerçi hâlâ hiç hoş bir şey değil bu yaptığınız). Artık o evrende asla doğmayıverirsiniz olur biter.

Biliminsanı ve zaman makinesi talimatları örneği de kolayca aydınlanıyor. Zaman yolcusu biliminsanı paralel bir evrene kaydığında, kendisinin genç hali, talimatları kullanarak zaman makinesi yapıp yapmama kararını dilediği gibi verebilir. Asla evrenine gelmiş olan zaman yolcusu biliminsanına dönüşmeyeceğinden dolayı paradoks doğmaz.

Kütle ve enerjinin korunmuyor olması sorunu bile ortadan kalkıyor, çünkü artık her bir evrende ayrı ayrı değil, bütün çoklu-evrendeki

korunumu göz önüne alıyoruz. Sizi meydana getiren kütle ve enerji bir evrenden bir diğerine taşınıyor, dolayısıyla bütün çoklu-evrenin kütle ve enerji toplamı değişmiyor.

Evrenleri birbirine bağlamak

Çoklu-evren resminde ele almamız gereken sorunlardan biri de nedensellik meselesi. Vardığınız paralel evrenin sizin oraya varacağını önceden bilmesi gerekiyor adeta. Zaman yolculuğunun yeni evrendeki varış noktası, yola çıktığımız evrene oranla daha erken bir zamanda olduğundan dolayı, habersiz varışımızın yeni evrendeki fizik yasalarını çiğnememe zorunluluğu bir yana, eğer geçmişe gitmemiş olsaydınız, yaptığınız seçimler ve neden olduğunuz değişimler de hiç meydana gelmezdi. Kendi evreninizin geçmişine yolculuk etme paradoksuna oranla buna bir gelişme diyebilir miyiz gerçekten? Anlayabildiğimiz kadarıyla, paralel evrende geçmişte olmuş olaylar, sizi kendi evreninizde geçmişe yolculuk yapmaya zorluyor. Neden ve sonuç farklı gerçekliklerin içinde olunca nedenselliği çiğnemek serbest mi olur? İşin içinde bir üçkağıt varmış gibi durmuyor mu?

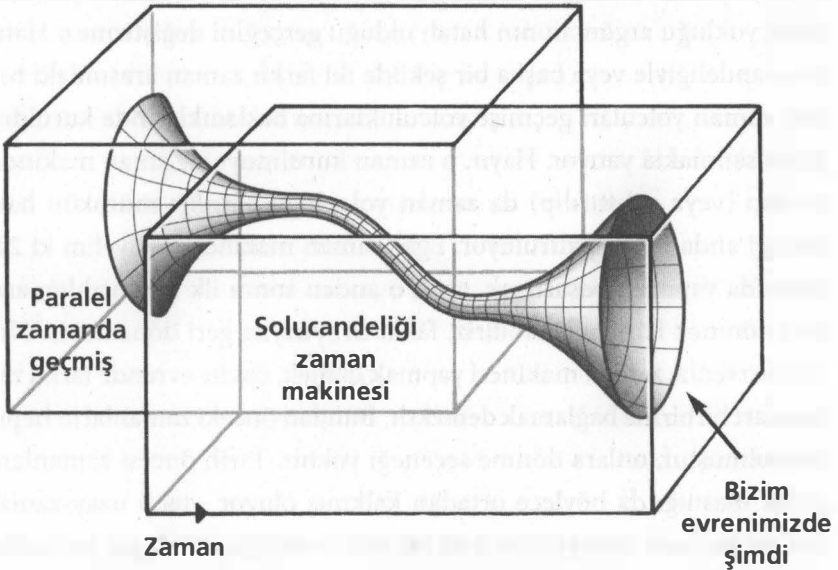
Bu işten bir çıkış yolu var, fakat bunun için zaman makinesinin yapılıp çalıştırılması işinin sizin bulunduğunuz evrende değil, geçmişine gittiğiniz evrende yapılması gerekiyor. O zaman evrenler arasındaki bağ *zamanda geleceğe doğru* olur. Bir kere kurulduktan sonra, bu bağ iki evren arasında çift-yönlü yolculuğa izin verir. Üstelik genel görelilik, Evrenimizi bir başka paralel evrenle tam da bu şekilde bağlamamıza izin veriyor; en azından kuramsal açıdan. Buna “uzay-zaman solucandeligi” diyoruz.

Uzay-zaman dokusundaki varsayımsal yapılar olan solucandeliklerinin gerçek dünyada varoldukları düşünülüyor. Fakat uzay ve zamanın doğasına dair modern kuramlarımızın bize söylediği kadarıyla, varolmalarının önünde bir engel de yok. Ve madem ki böyle bir engel yok, biz de bu olasılık üzerinden fikir yürütebiliriz. Kuzenleri di-

yebileceğimiz karadeliklerin varlığından ise çoğu fizikçi ve gökbilimci şüphe etmiyor. Karadelikler, çökmüş yıldızlar veya galaksilerin merkezleri gibi basıncın inanılmaz seviyelere ulaştığı yerlerde maddenin sıkışmasıyla oluşur. Solucandelikleri ise Evrenimizde doğal yollarla varolmadığını düşündüğümüz, yalnızca çok özel koşullarda oluşabilir. Yine de en azından kuramsal olarak bir solucandeliği, Evrenimizin bir noktasından bambaşka bir yerine ve zamanına, ya da paralel bir evrene, uzay-zamanda bir kısayol oluşturabilir. Bize zaman yolculuğu için umut verenler de işte bu uzay-zaman tünelleridir.

Bu durumda Dede Paradoksu'nu ve türevlerini, fiziğin yerle bir ettiği "paradoksumsu"lar konumuna indirgemiş olduk mu sonuç olarak? Aslına bakarsanız hayır; paradoksların içinden çıkış yolları bulsak da, bunu yapalım derken desteksiz fikirlerin topraklarına adım atmış ol-

Şekil 7.3. Uzay-zamanda bir solucandeliği



Paradoksları engellemek için, bir solucandeliğiyle paralel bir evrenin geçmişine bağlanmak gerekir.

duk. Fiziğin hiçbir yasasını çiğnemedik elbette, ama çoklu-evren ve solucandeliği gibi fikirler standart bilimin dışındalar: üzerlerinde düşünmek eğlenceli olsa da doğrulanmaları imkânsız . . . en azından şimdilik.

Tüm bu zaman yolcuları nerede?

Zaman yolculuğunun imkânsızlığını savunan pek çok kişinin sorduğu bir sorudur bu. Eğer, diyorlar, geçmişe zaman yolculuğu mümkünse bazı zaman yolcularının da bizim zamanımıza gelip aramıza katılmış olması gerekir. Gelgelelim, şimdiye kadar böyle biriyle hiç karşılaşmadık. Zaman makinelerinin asla yapılmayacak olduğunun kanıtı değil mi bu?

Günün birinde geçmişe zaman yolculuğunun imkânsız olduğu ortaya çıkabilir gerçekten. Belki paralel evrenler veya solucandelikleri yoktur, belki Einstein'ın görelilik kuramını daha da geliştiririz ve geçmişe yolculuk olasılığını dışladığını görürüz. Ama bu, zaman yolcularının yokluğu argümanının hatalı olduğu gerçeğini değiştirmez. Hata, solucandeliğiyle veya başka bir şekilde iki farklı zaman arasındaki bağın, zaman yolcuları geçmişe yolculuklarına başladıklarında kurulduğunu sanmakta yatıyor. Hayır, o zaman kurulmuyor. Zaman makinesi yapıp (veya çalıştırılıp) da zaman yolculuğu *olasılığı* mümkün hâle geldiği anda bu bağ kuruluyor. Eğer zaman makinesini diyelim ki 22. yüzyılda yapmayı başarırız, artık o andan sonra ilk çalıştırıldığı ana geri dönmek için kullanabiliriz, fakat 21. yüzyıla geri dönemeyiz. Neden derseniz, zaman makinesi yapmak demek, çoklu-evrende farklı zamanları birbirine bağlamak demektir. Bundan önceki zamanların hepsi kaybolmuştur, onlara dönme seçeneği yoktur. Tarih öncesi zamanlara gitme olasılığı da böylece ortadan kalkmış oluyor –tabii uzay-zamanın bir yerinde, örneğin çok eski bir solucandeliği gibi doğal yollardan oluşmuş bir zaman makinesiyle karşılaşmazsak.

Dolayısıyla aramızda hiç zaman yolcusu bulunmamasının basit bir nedeni var: zaman makinesi daha icat edilmedi de ondan.

Aslında zaman yolcusu olmamasının daha pek çok nedeni var. Diyelim ki çoklu-evren kuramı doğru –ki zaman yolculuğunun olabilmesi için doğru olması gerektiğini savunuyorum– ve paralel evrenlerden birinde zaman makinesi icat edildi, fakat bu zaman yolcularının illa bizim Evrenimizi ziyaret edeceği anlamına gelmez. Belki de bizim Evrenimiz ziyaret edilen şanslı evrenlerden biri değildir, bu kadar basit. Başka bir neden olarak, geçmişe zaman yolculuğu henüz bilmediğimiz bir fizik yasası yüzünden de yasak olabilir. Veya belki alelade bir nedeni vardır: aramızda zaman yolcularını görmeyi bekliyorsak, bizi ziyaret etmek istediklerini baştan varsaymış oluruz. Ama onların ziyaret etmeleri için çok daha güzel ve güvenli dönemler vardır belki. Veya belki zaman yolcuları aramızdadır ama kendilerini açık etmek istemiyorlardır.

SEKİZ

Laplace'ın Cini Paradoksu

*Bir kelebeğin kanat çırpışları bizi öngörülebilir
bir gelecekte kurtarabilir mi?*

“ÖNGÖRÜDE BULUNMAK çok zor, özellikle de gelecekle ilgili.” Böyle demişti Danimarkalı kuantum fizikçisi Niels Bohr. Boş bir söz gibi gelebilir, ama genelde Bohr'un ağzından çıkan çoğu sözde olduğu gibi, yazgıya, özgür iradeye ve geleceğe yön verme becerimize dair daha derin bir anlam gizli.

İzin verin önce paradoksu anlatayım. Fransız matematikçi Pierre-Simone Laplace, Maxwell'in cininden yarım asır önce kendi cinini tasarlamıştı. Laplace'ın cini Maxwell'inkinden çok daha güçlü, çünkü sadece bir kutunun içindeki değil, Evren'deki her parçacığın yerini ve durumunu biliyor, ayrıca parçacıkların birbiriyle etkileşimine dair fizik yasalarını tam olarak anlıyor. Bu demektir ki, ilkesel olarak her şeyi bilen bu cin, Evren'in zaman içinde nasıl değişeceğini hesaplayabilir ve gelecekteki halini öngörebilir. Fakat o zaman bu bilgiyi kullanıp belirli hareketler yaparak, dilerse geleceği öngörüsünden farklı bir şekilde de yönlendirebilir. Bu durumda ilk öngörüsü yanlış çıkar ve kendi gele-

ceği görme becerisini geçersiz kılmış olur (çünkü madem geleceği biliyordu, kendi yapacağı hareketlerle geleceği değiştireceğini de hesaba katması gerekirdi).

Paradoksu daha keskin biçimde ortaya koyan güzel bir örneğe bakalım. Cinimiz müthiş bir süper-bilgisayar olsun. Öyle ki, Evren'deki en ufak ayrıntıları bile, kendisini oluşturan atomların ve devrelerinde gezinen her elektronun durumlarını bile bilebilecek kadar güçlü ve kapasiteli olsun. Bu bilgi sayesinde gelecekte neler olacağını kesin olarak hesaplayabiliyor. Programcılar basit bir komut veriyorlar (eh, o da bu komutu vereceklerini biliyordu zaten): Eğer gelecekte hâlâ varlığını sürdürüyorsan kendini şimdi yok et, fakat eğer yok olmuşsan bir şey yapma (ki bu durumda kendini zaten yok etmiş olacaktır). Tekrarlamak gerekirse: Hâlâ var olduğu bir gelecek öngörüyorsa kendini yok edecek, zaten yok olmuşsa bir şey yapmayacak. Her iki durumda da öngörüsü yanlış olur. Sonuç olarak gelecekte var olacak mı olmayacak mı?

Kitaptaki diğer pek çok paradoks gibi bu da sırf felsefi bir tartışma olmanın ötesinde gerçeklikle ilgili derin bir şeyler söylüyor. Laplace, cininin paradoksal doğasından habersiz görünüyor; zaten basit bir şekilde “akıl” diye bahsetmiş. Özgün tarifi şu şekilde:

Evren'in şu anki halini, geçmişinin sonucu ve geleceğinin nedeni olarak düşünebiliriz. Herhangi bir anda, doğadaki tüm cisimlerin yerlerini ve o anda varolan tüm kuvvetleri bilen bir akıl olduğunu hayal edin. Eğer bu akıl aynı zamanda tüm bu bilgileri analiz edebilecek kadar büyükse, Evren'deki en büyük cisimlerden en küçük atomlara kadar her şeyin hareketini tek bir formülle ifade edebilir; çünkü böyle bir akıl için hiçbir şey belirsiz değildir ve gelecek de tıpkı geçmiş gibi gözlerinin önüne serilidir.*

Laplace paradoks peşinde değildi –bu hipoteziyle o dönemde tartışmasız olduğu düşünülen bir düşüncenin altını çizmek istiyordu: Evren “deterministik”ti. Bu sözcük bu bölümün paradoksunun kalbin-

* Pierre-Simon Laplace, *A Philosophical Essay on Probabilities* (1814), çev. F. W. Truscott ve F. L. Emory, 6. baskı (New York, Dover, 1951), sf. 4.

de yer alıyor, o yüzden ne anlama geldiğini iyi anlamalı ve tanımını iyi yapmalıyız. Determinizm, gelecek ilkesel olarak öngörülebilir demektir. Yalnız yukarıdaki paradoksa göre bu olasılığı kabul edemeyiz: Laplace yanılıyor olmalı; Evren deterministik olamaz. Fakat birlikte göreceğimiz üzere, modern fizik kuramlarımızda belli bazı sakıncalar ve belirsizlikler olmakla birlikte, Evrenimizin deterministik olduğuna inanmak için her türlü neden var elimizde.

Bundan nasıl bir anlam çıkarmamız gerekir? Yazgımız önceden belli olduğu için özgür irade yoktur mu diyeceğiz? Başka türlü Laplace'ın Cini Paradoksu'nun içinden nasıl çıkabiliriz?

Bu durumu geçen bölümdeki zaman yolculuğu paradoksuyla kısaca karşılaştırabiliriz. Orada geçmişimiz sabitti ve bizim tarafımızdan biliniyordu; değiştirerek paradoksun doğmasına yol açmak için zamanda geri gitmemiz gerekiyordu. Buradaysa Laplace'ın cini geleceği biliyor ama zaman yolculuğu peşinde değil; zamanın geçmesini bekliyor. Beklerken de dilerse şu ana müdahale edebilir ve geleceğin farklı şekilde oluşmasına neden olabilir.

Zaman yolculuğu paradokslarını hepten ortadan kaldırmanın pek de bilimsel olmayan bir yolu, geçmişe zaman yolculuğunun imkânsız olduğunu söyleyerek kesip atmaktır. Fakat Laplace'ın Cini'nde zaman yolculuğu gerekmiyor. Cin gelecekte kaçamaz; hiçbir şey yapmasa bile gelecek yaklaşıyor, dolayısıyla bu paradoksu çözümlmek için başka bir açıklama bulmamız lazım. Genelde en basit seçeneğin doğru seçenek olmasından yola çıkacak olursak şöyle düşünebiliriz: Burada belli ki gelecek geçmiş gibi sabit değil, hâlâ açık ve belirlenmemiş durumda. Anlaşılan cinin "görebildiği" şey olası geleceklerden sadece biri. Bilgisayarın –ve umuyorum ki bizim– özgür seçimler yapabilmemiz için Evrenimizin deterministik olmaması gerekir. Bu düşüncenin albenisi olsa da, Laplace'ın Cini Paradoksu'nu çözmek için bize gereken düşünce değil.

Bu çözümün neden yeterli olmadığını görmek için şu senaryoya bakalım. Evren'in gelecekteki halini hesaplamak için bilgisayarı kullanıyoruz. Bu gelecekte, onlarca yıl boyunca pek çok büyük bilimsanı

yaratıcı deneyler ve büyük ilerlemeler sonunda harika bir yeni fizik kuramı bulmuş. Bu kuram bir dizi matematiksel formülle ifade edilebiliyor. Bilgisayar bize bu formülleri söylüyor, böylece gelecekte bu formüle ulaşmamızı sağlayacak uzun bilimsel araştırma sürecine katlanmaktan bizi kurtarıyor. Bilgisayara teşekkür edip kapatıyor, hiç yolulmadan Nobel ödülümüzü alıyoruz.

Sorun şu: Bilgisayar potansiyel olarak mümkün olan sonsuz gelecekte tam da bu önemli bilimsel buluşun yapıldığı geleceği öngördüyse, o zaman burada bizim anladığımız anlamda gerçek bir öngöründen bahsedemeyiz; buluşa tamamen şans eseri varmış olmasından hiçbir farkı yok bunun. Popüler “sonsuz maymun kuramı”na benziyor biraz; bir daktilonun tuşlarına sonsuza kadar rasgele vuran bir maymun bir noktada, tamamen tesadüf eseri, Shakespeare’in tüm eserlerini yazacaktır. Dolayısıyla bu açıklamadan hiçbir şey öğrenmedik. Her ne kadar bilgisayarın tesadüf eseri yeni bir “her şeyin kuramı”nı bulması imkânsız olmasa da, bu sonuç o kadar düşük bir olasılık ki görmezden gelebiliriz. Bilgisayar hesaplamalarına günümüzün bilgilerini alarak başlayacak ve dünyanın önde gelen kuramsal fizikçilerinin düşünce silsilelerini takip edecek, gelecekte yapılabilecek yeni deney fikirlerini dikkate alacak kuşkusuz, dolayısıyla maymunun daktilo tuşlarına rasgele basarak aynı kuramı elde etmesine göre şansı daha fazla. Fakat yine de böyle bir sonucun ortaya çıkma olasılığı hızla sıfıra doğru yaklaşır.

Yine de paradoksun tamamen geçerli bir çözümü var elbette. Artık ağzımdaki baklayı çıkarsam iyi olur. Eğer biraz gönülsüz gözüküyorsam, bu durum cevabın paradoksun hakettiği ağırlığı pek taşıyor olmasından kaynaklanıyor. Süper-bilgisayarın kapasitesinden bahsederken kendi iç yapısının ayrıntılarını da bildiğini, böylece kendi davranışlarını da öngörebildiğini söylemiştik (bilgisayarın özgür iradesi olup olmadığını bir kenara bırakalım; müthiş gücüne rağmen, bilincinin olmadığını ve kendi öngörüsünün dışında bir davranışta bulunarak kendisini kandırabileceğinin farkında olmadığını kabul edeceğiz). Bilgisayarın kendisini oluşturan her atomun ve her elektronun duru-

munu bilmesi ne anlama geliyor diye düşündüğümüzde, senaryonun tıkanıldığını fark ediyoruz. Bu bilgiyi bellek ünitelerinde saklaması gerekir, ama bellek ünitelerinin atomları da sakladıkları bilgiye bağlı olarak belirli, özel bir düzende duruyorlar, ki bu atomlarla ilgili bilginin de saklanması gerekiyor, vs. Bu paradoksal bir durum ve bilgisayarın kendisine ait her şeyi bilme olasılığını ortadan kaldırıyor. Bu yüzden gelecekle ilgili öngörülerine kendisini dahil edemez. O zaman da Evren’le ilgili bilgileri eksik demektir.

Yukarıdaki argüman Laplace’ın cinini saf dışı etmek için yeterli. Peki bu paradoksa dair söyleyeceklerimiz bundan mı ibaret? Hiç de değil. Geleceği bilebilme olasılığına değinerek Evren’in deterministik olup olmadığıyla ilgili soruların Pandora kutusunu açmış olduk. Hareketlerimizi belirlerken özgür müyüz? Gelecek önceden belirlenmiş mi? Bilimin bu konularda söyleyecekleri var.

Determinizm

Üç kavramı birbirinden ayırarak işe başlayalım: determinizm, öngörülebilirlik ve rassallık.

Öncelikle, “determinizm”den kastımız filozofların deyişiyle “nedsel determinizm”, yani geçmişteki olayların gelecekteki olaylara neden olduğu fikri. Bu fikri mantıksal sonuçlarına götürürsek diyebiliriz ki, her şey Evren’in doğuş anına kadar izi sürülebilecek olaylar zincirinin sonucu olarak meydana gelir.

17. yüzyılda Isaac Newton, o dönemlerde yeni yeni anlaşılan, kendisinin de geliştirilmesine büyük katkıda bulunduğu kalkülüs matematiğini kullanarak hareket yasalarını buldu. Bulduğu denklemler sayesinde biliminsanları, top güllerinden gezegenlerin yörüngelerine kadar cisimlerin nasıl hareket edeceğini ve birbiriyle nasıl etkileşeceğini öngörme becerisi kazandılar. Bu matematiksel formüller sayesinde bir cismin kütle, şekil, konum, hız ve üzerine etki eden kuvvetler gibi

fiziksel özelliklerinin değerleri formüllere yerleştirilerek, gelecekte herhangi bir andaki durumuyla ilgili bilgi edinmek mümkün oldu.

Bunun sonucunda, tüm doğa yasaları bilinirse ilkesel olarak Evren'deki her cismin gelecekteki durumunun bilinmesinin mümkün olacağı görüşü yaklaşık iki yüz yıl boyunca kabul gördü. Demek ki Evrenimiz içindeki her şeyin, her hareketin, her değişimin önceden belirlendiği bir evrendi. Özgür seçim diye bir şey yoktu, belirsizlik de, şans da yoktu. Bu modele "Newton'un kurmalı evreni" adı verildi. İlk bakışta, Einstein'ınki gibi cansız bir blok evrene benzemiyor; ondaki gibi geçmişte olanlar ve gelecekte olacaklar donmuş bir şekilde gözler önüne serili durmuyor. Ama kurmalı evren de pek farklı değil aslında. Onda da bütün gelecek belirlenmiş ve sabit durumda.

Bu görüş sonradan bir anda değişiverdi. İsveç Kralı 1886'da, güneş sisteminin değişmez olduğunu kanıtlayan kişiye, çoğu kişinin yıllık kazancından az olan 2.500 kronerlik küçük bir ödül vaadetti. Burada değişmezden kastedilen şeydi: gezegenler Güneş'in çevresinde sonsuza dek dönecekler miydi, yoksa günün birinde bir tanesi yörüngesinden çıkıp Güneş'e çarpacak, veya çekim gücünden kurtulup sistemden uzaklaşacak mıydı? Fransız matematikçi Henri Poincaré bu soruya yanıt arayanlar arasında yerini aldı. Yalnızca Güneş, Dünya ve Ay'ı içeren, "üç-cisim problemi" olarak bilinen daha basit bir soruyla işe koyuldu. Üç cisimle bile matematiksel olarak kesin çözüme ulaşmanın imkânsız olduğunu bulguladı. Dahası, üç cismin bazı düzenlemeleri başlangıçtaki koşullara o kadar duyarlı oluyordu ki, denklemler tamamen düzensiz ve öngörülemez davranışlara işaret ediyordu. Bütün güneş sisteminin değişmez olup olmadığı sorusuna yanıt bulamasa da Kralın ödülünü kazandı.

Poincaré, güneş sistemindeki tüm cisimler (Güneş, tüm gezegenler ve ayları) şöyle dursun, etkileşim halindeki yalnızca üç tane cisimden oluşan bir sistemin bile nasıl değişeceğinin tam anlamıyla bilinemeyeceğini bulgulamıştı. Fakat bu bulgunun ne anlama geldiği üzerine üç çeyrek asır boyunca daha fazla araştırma yapılmadı.

Kelebek etkisi

Her türlü hesaplamaya gücü yeten bilgisayarımıza çok daha mütevazı bir görev verelim; bilardo masasında ilk atıştan sonra topoların nasıl dağılacğını öngörmeye çalışsın. Masadaki her top ayrı bir yana gidecek, çoğu birden fazla kez diğerleriyle ve masa kenarıyla çarpışarak sekecek. Tabii bilgisayarın ilk topa hangi hızla vurulduğunu ve çarptığı ilk topa hangi açıyla çarptığını bilmesi gerekir. Ama bu yeterli mi? Sonunda topoların hepsi durduğunda bilgisayarın tahmini gerçekteki dağılıma ne derece yakın olur? Yalnızca iki topun çarpışması söz konusu olduğunda sonucu öngörmek kuramsal açıdan mümkün olsa da, pek çok topun çarpışması gibi karmaşık bir durumun sonunda ne olacağını hesaplayabilmek neredeyse imkânsızdır. Toplardan bir tanesi azıcık farklı bir açıyla hareket ederse daha önce yanından geçtiği bir topla çarpışabilir, böylece her iki topun izleyecekleri yollar tamamen değişebilir, son durum bir anda bambaşka bir hale gelir.

Bu yüzden sadece gönderdiğimiz topun değil, masadaki her topun tam konumunu bilgisayara girmemiz gerekir: birbirlerine dokunuyorlar mı, masanın kenarlarına olan mesafeleri ne kadar, vs. Bu bile yeterli olmaz. Toplardan birinin üstündeki küçücük bir toz parçası, milimetrik oranda rotasını değiştirmeye, ya da hızını azaltmaya yeter, ki bunun sonucunda top bir sonraki topa farklı bir şekilde çarpar. Ayrıca bilgisayara masanın yüzeyinin durumuyla ilgili kesin bilgi vermemiz gerekir: neresi biraz daha tozlu, neresi biraz daha aşınmış, ki bilgisayar topoların maruz kalacağı sürtünmeyi daha iyi hesaplayabilsin.

Yine de bu iş imkânsız değil diye düşünebilirsiniz. *İlkesel olarak*, başlangıç koşullarıyla ilgili tüm bilgilere sahipsek ve hareket yasalarını ve formüllerini tam olarak biliyorsak yapılabilir. Topoların nereye gideceği rassal değil –hepsi fizik yasalarına uyuyor ve her an, tamamen deterministik bir şekilde, üzerlerine etki eden kuvvetlere göre hareket ediyorlar. Sorun şu ki *uygulamada* asla güvenilir bir öngöründe bulunamayız, çünkü tüm başlangıç koşullarını inanılmaz bir kesinlik derecesinde bilmemiz gerekir; her topun üzerindeki her toz parçasını, masanın üzerindeki kumaşın her

ipliğini hesaba katmamız gerekir. Eğer masayla toplar arasında sürtünme yoksa tabii çok daha uzun süre çarpışmaya ve saçılmaya devam ederler, sonunda durduklarında ise tam nerede olduklarını bilebilmemiz için ilk andaki koşullarını daha da kesin olarak bilmemiz gerekir.*

Diğer tüm etkilerin yanında başlangıç koşullarını sonsuz bir kesinlik derecesinde bilemeyişimiz ve kontrol edemeyişimiz, çok daha basit gözükken sistemlerde de kendini belli eder. Örneğin yazı-tura atarken parayı ilkiyle tamamen aynı şekilde atıp tekrar tekrar aynı sonucu elde etmenin gerçekçi bir beklenti olmadığını biliriz. Diyelim ki parayı attık ve tura geldi, bir daha aynı şekilde atıp havada aynı sayıda dönmesini sağlayarak tekrar tura gelmesini sağlamak aşırı zordur.

Hem bilardo masası, hem de yazı-tura örneğinde, eğer her şeyi bilebilseydik tam olarak aynı hareketi yapıp aynı sonucu elde edebilirdik. Bu tekrarlanabilirlik Newton dünyasının özünü oluşturur ve her yerde kendini gösterir. Fakat başlangıç koşullarına duyarlılık da yine bu dünyanın özünde yer alır. Sabah işe giderken belli bir karar verirsiniz, örneğin karşıdan karşıya geçmeden önce bir saniyelğine duraksarsanız, eski bir arkadaşınıza rastlama fırsatını kaçırmış olabilirsiniz, o arkadaşınız size yeni bir iş başvurusu yapmanıza neden olacak bir bilgi verebilir, o iş hayatınızı değiştirebilir. Bir saniye daha duraksarsanız belki otobüs çarpabilir. Deterministik bir evrende yazgımız önceden belirlenmiş olabilir fakat öngörülemez.

Bu fikirleri ilk ortaya atan ve yeni bir kaos kavramı oluşturan kişi Amerikalı matematikçi ve meteoroloji uzmanı Edward Lorenz'tir. Lorenz bu keşfini, 1960'ların başlarında hava durumu modelleri üzerinde çalışırken bir yanlışlık sonucu yapmıştır. Simülasyonu için erken dönem bilgisayarlardan bir LGP-30 kullanıyordu. Bir noktada simülasyonunu tekrar çalıştırması gerekti. Bunun için bilgisayarın kullandığı sayıların çıktısını aldı ve geri geldiğinde bu sayıları tekrar kağıttan bilgisayara girdi. Bilgisayar girdi olarak aynı sayıları kullandığı için, ilk seferkiyle aynı sonuçlara varması gerekirdi.

* Matematiksel fizikçi Sir Michael Berry'nin yaptığı hesaplamalara göre, bilardo toplarının dokuzuncu çarpışmasını doğru bir şekilde hesaplayabilmek için, masanın yanında duran birinin kütleçekim etkisini hesaba katmak gerekir. 56. çarpışmayı doğru olarak hesaplayabilmek içinse Evren'deki her atomu hesaba katmak gerekir. Milyarlarca ışık yılı uzaktaki tek bir atomun dahi çarpışmanın sonucuna anlamlı etkisi olur. (ç.n.)

Fakat öyle olmadı. Bilgisayar, hesaplamalarında virgülden sonra 6 basamak hesaplıyor, fakat çıktıyı basarken 3 basamağa kadar yuvarlıyordu. Örneğin belleğindeki sayı 0,506127 ise çıktıda 0,506 yazıyordu. Lorenz de bu yuvarlatılmış sayıları girmişti. Bu iki değer arasındaki ufacık farkın (0,000127) simülasyonun sonunda ufacık bir farka yol açacağını tahmin ediyordu. Fakat öyle olmadı. Çok büyük bir sürprizle karşılaştı. Lorenz ufacık değişimlerin çok büyük etkilere yol açabileceğini keşfetmişti. Bu simülasyon bugün “doğrusal olmayan davranış” diye adlandırdığımız şeyin bir örneğiydi. Uzun vadeli hava tahmini yapmanın zorluğu buradadır; gerçek hava durumunu etkileyen değişkenleri asla sonsuz kesinlikte bilemeyiz. Bilardo masası örneğiyle aynı durum –sadece çok daha karmaşığı. Günümüzde birkaç gün içinde yağmur yağıp yağmayacağını makul bir güvenilirlikte söyleyebiliyoruz, fakat önümüzdeki yılın aynı günü yağıp yağmayacağını asla bilemeyiz.

Lorenz bu önemli keşfini “kelebek etkisi” olarak adlandırdı. Bir kelebeğin kanat çırpmasının, sonraki olaylar üzerinde dalgalar gibi gittikçe yayılan etkilere yol açması fikrine ilk olarak Ray Bradbury’nin 1952’de yazdığı *A Sound of Thunder** adlı kısa öyküde rastlıyoruz. Lorenz bu fikri ondan ödünç alarak popülerleştirdi. “Bir kelebeğin kanat çırpması, aylar sonra dünyanın diğer ucunda kasırga kopmasına neden olabilir” sözü tanıdık bir ifade haline geldi. Tabii bu demek değil ki kasırganın çıkmasına kelebeğin kanat çırpması neden oldu; daha ziyade dünyanın pek çok yerindeki trilyonlarca ufak olayın bileşke etkisi sonucu kasırga meydana geldi –*herhangi biri* farklı olsaydı kasırga hiç olmayabilirdi.

Kaos

“Kaos” sözcüğü günlük dilde düzensizlik ve gelişigüzelik anlamında kullanılır, örneğin bir çocuğun doğum günü partisi “kaotik” olabilir. Bilimde kaosu daha belirli ve kesin bir anlamı var. Determinizm ve olasılığı beklenmedik bir yoldan bir araya getiriyor. Bir

* Gök Gürültüsü Sesi

kez anlaşıldığında tamamen mantıksal ve sağduyuya yatkın gelse de, yakın zamanlara kadar anlaşılmamış olması, bu ilişkinin aşıkâr olmadığını gösteriyor. Kaotik davranışın tanımlarından biri şu şekilde: eğer bir sistem döngüsel hareket ediyorsa, yani tekrar tekrar aynı hareketleri yapıyorsa, fakat zaman içindeki değişimleri başlangıç koşullarına hassas bir şekilde bağlıysa, o zaman her döngüde bir öncekiyle tamı tamına aynı halde olmayacak, gelişigüzel hareket ediyormuş izlenimi uyandıracak ve tamamen öngörülemez bir biçimde yönünü değiştirecektir.

Aslında kaos, sözcüğün gerçek anlamıyla bir “kuram” değildir, fakat “kaos kuramı” terimi yaygın olarak kullanılır ve biz de burada kullanmaya devam edeceğiz. Daha çok bir kavram, bir olgudur. Doğada neredeyse her yerde karşımıza çıkar. Bilimde “*doğrusal olmayan dinamik*” adı altında tümenden yeni bir disiplinin doğmasına neden olmuştur. Bu ad, kaotik sistemlerin en temel matematiksel özelliğini, yani neden ve sonuç arasındaki etkileşimin doğrusal ve orantısız olmasını vurgular. Halbuki kaos tam anlaşılmadan önce, basit nedenlerin basit sonuçlara, karmaşık nedenlerinse karmaşık sonuçlara yol açacağı varsayılıyordu. Basit bir nedenin karmaşık bir sonuca yol açması beklenmezdi. Matematikçilerin “doğrusal olmayan” sözünden kastı budur.

Kaos kuramına göre düzen ve determinizm, rassal izlenimi veren durumlar üretebilir. Buna göre, Evrenimiz fizik yasalarına uysa ve deterministik olsa da, çoğu zaman son derece karmaşık, düzensiz ve en önemlisi öngörülemez olma eğilimi gösterir. Artık kaosla bilimin her alanında karşılaşyoruz. İlk olarak hava durumunu anlamaya çalışırken karşılaştığımız kaosla artık galaksideki yıldızların hareketlerinde, güneş sistemimizdeki gezegenlerin ve kuyruklu yıldızların yörüngelerinde, hayvan nüfuslarının artma ve azalmalarında, hücrelerin içindeki metabolizmanın çalışma şeklinde ve kalplerimizin atış şeklinde, atomaltı parçacıkların davranışlarında, makinelerin çalışmasında, boru içindeki sıvıların türbülanslı akışlarında ve elektrik devrelerin-

deki elektronlarda karşılaşılıyor. Yine de en kolay görüldükleri yerler bilgisayar simülasyonları. Kaotik davranışı matematiksel olarak modellemek zor değil, fakat aynı formülü defalarca baştan hesaplamaya dayanmasından dolayı, makul bir sürede yapabilmek için hızlı bilgisayarlar gerekiyor.

Özetle, kuantum rassallığını (şimdilik) bir kenara bırakırsak, kaos kuramı bize Evren'in deterministik de olsa öngörülemez olduğunu söyler. Ancak bu öngörülemezlik gerçek rassallığın bir sonucu değildir: Evren'in deterministik doğası, kusursuz ve eksiksiz tanımlanmış kurallara uyduğu anlamına gelir; bu kuralların bir kısmını keşfettik, bir kısmı keşfetmemizi bekliyor. Öngörülmezlik ise, en basit sistemleri saymazsak, hiçbir şeyin ilk koşullarını sonsuz bir kesinlikle asla bilemeyecek olmamızdan kaynaklanıyor. Hesaplamalarda kullandığımız girdilerin hata payı kaçınılmazdır, ve bu küçük hatalar gittikçe büyüyen dalga etkisi yaparak uzun vadeli öngörülerini geçersiz kılar.

Kaosun bunun dışında çok ilginç ve belki daha bile önemli bir başka yanı var: basit kuralların kaotik davranışa yol açacak şekilde tekrar tekrar uygulanması, bazen başlangıçtaki sıradan ve biçimsiz yapıların güzel ve karmaşık örüntülere dönüşmesine yol açabilir. Başka bir deyişle basit birkaç kuralı sürekli uygulayarak sıradan ve düzensiz biçimlerden, güzel ve karmaşık yapılar elde edebiliriz. Bu fikir, "belirme kuramı"* ve "karmaşıklık kuramı"** adı verilen yeni akademik disiplinlerin doğmasına yol açmıştır. Bu kuramlar biyoloji, ekonomi ve yapay zekâ gibi çeşitli alanlarda önemli roller oynamaya başladılar.

Özgür irade

Peki tüm bunlar bize özgür iradeyle (dolayısıyla Laplace'ın Cini Paradoksu'yla) ilgili ne söylüyor? Bu konuda hâlâ farklı felsefi yaklaşımlar var ve mesele çözölmüş değil. Bu konuda ben ancak bir kuramsal fi-

* İng: emergence theory

** İng: complexity theory

zikçi olarak kendi şahsi görüşlerimi söyleyebilirim; farklı düşünmekte özgürsünüz. Yoksa değil misiniz?

Yaşadığımız Evren'e dair dört farklı görüş var elimizde:

- 1 Determinizm doğru. Her hareketimiz öngörülebilir. Özgür irade diye bir şey yok. Özgür seçimler yapıyor gibi gelmesi bir yanılsamadan ibaret.
- 2 Determinizm doğru. Fakat yine de özgür iradeye sahibiz.
- 3 Determinizm yanlış. Evren'in kendi yapısından kaynaklanan rassallık var, bu da bizi özgür irade sahibi yapıyor.
- 4 Determinizm yanlış. Fakat yine de özgür iradeye sahip değiliz çünkü olaylar rasgele oluyor. Her şey önceden belirlenseydi ne kadar özgür iradeye sahip olur idiysek şimdi de o kadar özgür iradeye sahibiz.

Biliminsanları, filozoflar ve dinbilimciler binlerce yıl özgür irademiz olup olmadığını tartıştılar. Ben burada özgür iradenin doğasının belli bazı özelliklerine ve fizikle olan bağlarına değineceğim. Bilincin ya da ruhun doğasına, “zihin-beden sorunu” denilen konuya kesinlikle girmeyeceğim.

Fiziksel beyinlerimiz, yüz milyarlarca nöron ve aralarındaki yüz trilyonlarca sinaptik bağdan oluşur. Onlar hakkında bugüne kadar öğrendiğimiz her şey, modern bir bilgisayara göre çok daha karmaşık ve çok daha fazla sayıda bağlantıya sahip olsalar da, beyinlerimizin bilgisayarlar gibi belli yazılımlara göre çalışan makinelerden başka bir şey olmadığını söylüyor. Sonuçta beyindeki atomlar da Evren'deki tüm diğer atomlar gibi aynı fizik yasalarına uyarlar. Dolayısıyla ilkesel olarak beynimizdeki her atomun yerini ve o anda ne yaptığını bilmek mümkündür. Ayrıca eğer birbirleriyle nasıl etkileştiklerini ve uyum içinde

çalıştıklarını belirleyen kuralları da tam olarak anlayabilirsek, o zaman *ilkesel olarak* beynimizin gelecekte herhangi bir andaki halini de bilebiliriz. Yani yeterince bilgiye sahipsem birazdan ne yapacağınızı veya ne düşüneceğinizi öngörebilirim –tabii o sırada dış dünyayla etkileşim halinde değilseniz, çünkü o zaman etkileşim içinde olduğunuz şeylerin de hepsini bilmem gerekir.

Bilincimizin fizikdışı, ruhani veya doğaüstü bir boyutu olmadığına göre –ki sonuçta böyle bir şeyin varlığına dair bir kanıt yok– eğer atomların hareketlerini belirleyen garip ve olasılıksal kuantum kuralları da olmasaydı, o zaman bizim de Newton’un kurmalı, deterministik evreninin bir parçası olduğumuzu ve her hareketimizin önceden belirlenmiş ve değiştirilemez olduğunu kabul etmemiz gerekirdi. İşin özü, özgür irademiz olmazdı.

Peki sonuçta özgür irademiz var mı yok mu? Determinizmle ilgili söylediklerime rağmen, ben bu sorunun cevabının evet olduğuna inanıyorum; özgür irademiz yine de var. Üstelik onun imdadına yetişen şey, bazı fizikçilerin iddia ettiği gibi kuantum mekaniği değil, kaos kuramı. Çünkü geleceğin ilkesel olarak değişmez olduğu deterministik bir evrende yaşıyor olmamız bir şeyi değiştirmez. Böyle bir gelecek *eğer sadece* bütün uzay ve zamanı dışarıdan görebilseydik bilinebilir olurdu. Fakat uzay-zamanın içinde yer alan biz ve bilincimiz için gelecek *asla* bilinemez. Bize açık bir gelecek sunan işte bu öngörülemezliktir. Bize göre, yaptığımız seçimler gerçek seçimlerdir, ve kelebek etkisinden dolayı, verdiğimiz kararlardan kaynaklanan küçük değişiklikler bambaşka sonuçlar ve bambaşka gelecekler doğurabilir.

Bu yüzden kaos kuramı sağolsun, geleceğimiz bizim tarafımızdan bilinemez. Geleceğimizin önceden belirlenmiş olduğunu ve özgür irademizin bir yanılsamadan ibaret olduğunu söylemeyi tercih edebilirsiniz –fakat bu şu gerçeği değiştirmez: Sonsuz sayıdaki olası gelecekte hangisinin yaşanacağını belirleyecek olan şey yine kendi yapacağımız hareketlerdir.

Olaya çevresindeki deterministik fakat öngörülemez dünyaya bakan bireyin gözünden değil de, beyinlerimizin karmaşıklığı ve çalışma şekil-

leri açısından bakmayı deneyin. Bize özgür irademizi veren şey, beynimiz gibi karmaşık bir sistemin, tüm düşünme süreçleri, anıları, birbirine bağlı ve geri bildirimli ağlarıyla öngörülmesinin imkânsız olmasıdır.

Bunu gerçek özgürlük veya yanılsama olarak adlandırmamız bir şey değiştirmez. Eğer beni kandırmak isterseniz birazdan ne diyeceğinizi veya ne yapacağınızı asla bilemem, çünkü gerçek hayatta beyninizdeki düşünceleri hesaplayamam; her sinirsel hareketi modelleyemem, her değişen sinaptik bağlantıyı, beyninizde bilincinizi oluşturan o trilyonlarca kelebeğin kanat çırpışlarını kestiremem. Size özgür iradenizi veren budur. Beyninizdeki olayların büyük olasılıkla tamamen deterministik olması bunu değiştirmez –tabii eğer kuantum mekaniğinin bu konuda bizim anladıklarımızın üzerine söyleyeceği bir sözü yoksa.

Kuantum dünyası – rassallığa kavuşuyor muyuz sonunda?

Atomaltı dünyasının kuramı olan kuantum mekaniği, doğanın en küçük boyutlardaki kurallarını açıklar. Bu dünyada olan bitenler, günlük dünyamızdan temel farklılıklar gösterir. Mikroskobik bir parçacığın, örneğin bir elektronun nasıl hareket ettiğini Newton mekaniğiyle açıklayamayacağımızın farkına 20. yüzyılın başlarında vardık.

Şu an burada bir elektron varsa ve üzerine belirli bir kuvvet uygularsak, örneğin bir elektrik alanını harekete geçirirsek, bir saniye sonra nerede olacağını belirli bir hassaslık derecesiyle söyleyebiliriz diye düşünürüz. Fakat aslında böyle kesin bir öngöründe bulunamıyoruz. Bu durum başlangıç koşullarını yeterince kesin olarak bilemememizden kaynaklanmıyor; çok daha başka bir nedeni var. Bozuk paralardan bilmardo toplarına ve gezegenlere kadar alışageldiğimiz dünyadaki cisimlerin davranışlarını belirleyen Newton'un hareket denklemleri, kuantum dünyasında işe yaramıyor; yeni kurallar ve matematiksel denklemlerle değiştirilmeleri gerekiyor. Bu yeni kurallar ve denklemlerin tanımlandı-

ğı mikroskobik gerçeklik ise, gerçek anlamıyla rassal özelliklere sahip gibi gözüküyor. Newton ve Einstein'ın evrenlerinin kaderci, değişmez determinizmine en sonunda çareyi bulduk anlaşılan, çünkü kuantum dünyası gerçek anlamıyla bir "indeterminizm" dünyası.

İkinci bölümde gördüğümüz üzere, bir atom alfa parçacığı fırlatarak radyoaktif bozunmaya uğrayabilir. Bu fırlatmanın ne zaman gerçekleşeceğini öngöremeyiz. Kuantum mekaniğinin standart yorumuna göre, bunun gerekli bilgileri bilmememizle ilgisi yok. Daha önce incelediğimiz durumdan farklı olarak, başlangıç koşullarını ne kadar kesin bilirsek bilelim, burada *ilkesel olarak bile* atomun ne zaman bozunacağını öngöremeyiz. Bu durumun nedeni bir bakıma, atomun kendisinin bile ne zaman bozunacağını bilmemesi. Öyle anlaşıyor ki bu belirsizlik, kuantum boyutlarında doğanın temel özelliklerinden biri.

Radyoaktif atom tamamen rassal davranmıyor elbette, çünkü aynı atomdan çok sayıda olduğunda davranışlarının istatistiksel bir ortalaması olduğunu görüyoruz. Bir grup atomun yarısının bozunması için gereken zamana o maddenin yarı-ömrü denir. Bu değer, atomlar yeterince çok olduğunda çok hassas bir şekilde ölçülebiliyor. Bu durum, çok fazla sayıda yazı-tura atışı yaptığımızda yazı ve tura oranlarının %50-%50'ye yakınsamasına benziyor. Gelgelelim, yazı-tura atışı aslında deterministik bir olay; olasılıksal özelliği başlangıç koşullarını tam olarak bilmememizden kaynaklanıyor. Halbuki atomlarda kuantum olasılıkları doğanın ayrılmaz bir özelliği; bu yüzden asla, ilkesel olarak bile, sonucu bilemeyiz.

O zaman burada şu önemli soruyu sormalıyız: bu kuantum indeterminizmi bizi makrodünyamızdaki kasvetli determinizmden kurtarıp özgür irademizi geri verir mi? Bazı filozoflar bu soruya evet yanıtını veriyor. Benim naçizane görüşüme göre yanılıyorlar. Bunu söylememin iki nedeni var. Birincisi, son yıllarda anlaşıldı ki, kuantum bulanıklığı ve rassallığı, trilyonlarca atomdan oluşan karmaşık sistemler inşa ettiğimizde hemen ortadan kayboluyor. İnsanların ve beyinlerin Newton dünyasındaki boyutlarına çıktığımızda, kuantum gariplikleri birbirleri-

ni dengeliyor ve uçup gidiyor. Normal determinizm geri dönüyor.

İkincisi benim de şahsen taraftarı olduğum, gözardı edilemeyecek bir argüman. Belki de kuantum mekaniği hikâyenin tamamını anlatmıyordur, radyoaktif bozunma gibi bir sürecin öngörülemez olması bizim cahilliğimizden kaynaklanıyordur. Yazı-tura örneğinde gerçek hayatta olmasa bile en azından ilkesel olarak, etki eden tüm kuvvetleri bilmemiz halinde sonucu söyleyebileceğimiz gibi, belki doğayı daha derin bir şekilde anlayabilsek, herhangi bir atomun ne zaman bozunacağını da aynı şekilde söyleyebileceğiz. Eğer durum gerçekten böyleyse yanıtı bulmak için kuantum mekaniğinin ötesine gitmemiz gerekir. Ya da en azından kuantum kurallarını baştan yorumlamamız gerekir. Bizzat Einstein da bu görüşteydi. “Tanrı zar atmaz” derken de kastettiği buydu. Einstein kuantum dünyasının rassallığını kabul edemiyordu.

Gerçi bu argümanın Einstein'ın savunduğu halinin yanlış olduğu sonradan gösterildi, ama kuantum kuramını yorumlamanın bir başka yolu daha var. Üstelik bu yol atomaltı dünyanın tamamen deterministik davrandığını savunurken standart kuramla çelişmiyor. David Bohm adlı bir fizikçinin bulduğu bu yorum yarım asırdan uzun bir geçmişe sahip. Sorun şu ki bugüne kadar kimse kuantum kuramının bu yorumunu test etmenin bir yolunu bulamadı, dolayısıyla Evren'in gerçekten atomaltı parçacıklar düzeyine kadar deterministik olup olmadığı onaylanamıyor.

Bohm'a göre, kuantum dünyasının öngörülemezliği gerçek rassallıktan değil, bizden hep gizli kalacak bilgilerin varlığından kaynaklanıyor. Bu bilgiler olmadan kesin öngörülerde bulunamayız. Kuantum dünyasının öngörülmez olması, yeterince derinine inerek bakamamamızdan, veya bir kuantum “kelebek etkisi”nin varlığından, ve ölçüm aletlerimizin yeterince hassas olmamasından kaynaklanmıyor; atomaltı dünyayı şu veya bu şekilde bozmadan, kendi haline dokunmadan incelemenin mümkün olmamasından kaynaklanıyor. Bir elektronun ne yapıyor olduğuna bakınca kaçınılmaz olarak davranışını değiştiriyoruz, o zaman da öngörümüz anlamını yitiriyor. Biraz şuna benziyor, su dolu bir bardağın dibindeki bir parayı parmaklarınızla çıkarmanızı

istiyorum ama parmaklarınızı ıslatmadan. Kuantum kuramının David Bohm yorumunda, Evren'deki her parçacığın hareketlerini belirleyen bir kuantum kuvvet alanı var; biz o parçacığı ölçtüğümüzde alanı bozmuş ve parçacığın davranışını değiştirmiş oluyoruz. Kuantum dünyasının bu tanımı doğru mu yanlış mı bilmiyoruz; belki de hiçbir zaman bilemeyeceğiz.

Son kez toparlayacak olursak

Laplace'ın Cini'nden bu yana uzun bir yol kat ettik. Bölümün başında bahsettiğim paradoksun çözümü kısmen kolay olsa da, yazgının ve özgür iradenin doğasına ilişkin bazı büyüleyici sorulara götürdü bizi. Anlaşılan geleceği asla bilemeyeceğiz, rassal olduğundan değil, iyi tanımlanmış kuralların dışına çıkmamasına rağmen öngörülemez olduğundan. Bu öngörülemezlik, özgür irademiz varmış izlenimi yaratmaya yetiyor. En küçük boyutların dünyasına kısıtlanmış olsa da, kuantum mekaniği bize gerçek rassallık sunuyor olabilir, fakat bu da tartışmaya açık bir konu.

İnsan beyninin işleyişine geldiğimizdeyse kimse bir sonraki büyük adımın ne zaman atılacağını bilmiyor. Belki de kuantum dünyasının olası-likasal doğası büyük boyutların dünyasını da etkiliyordur, özellikle de canlı hücrelerin iç yapısını ve beynimizi. Laplace'ın Cini Paradoksu'nu çözümlemiş olabiliriz, fakat tüm bu soruları yanıtladığımızı söyleyemeyiz.

DOKUZ

Schrödinger'in Kedisi Paradoksu

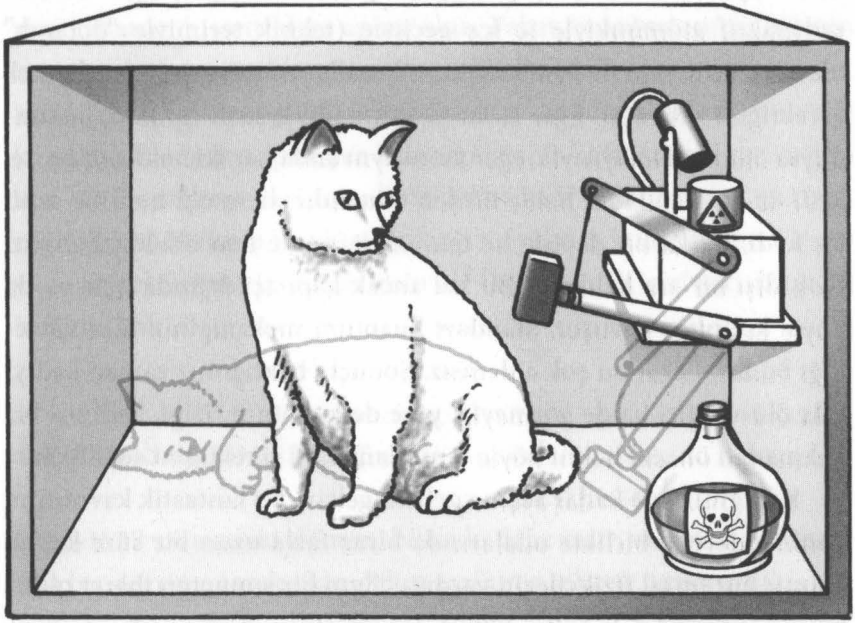
*Kutunun içindeki kedi hem ölü, hem de diri
-ta ki biz bakana dek*

1 935'TE KUANTUM MEKANIĞİNİN öncülerinden Avusturyalı dâhi Erwin Schrödinger, kuantum matematiğinin tuhaf yorumlarına bir dur demek istiyordu. Aralarında Albert Einstein da olmak üzere pek çok fizikçiyle tartıştıktan sonra, bilim tarihinin en ünlü düşünce deneylerinden birini ortaya attı. "Kuantum Mekaniğindeki Son Durum" başlıklı uzun makalesi önde gelen Alman bilimsel dergilerinden birinde yayınlandı. Makale o günden sonra kısaca "Schrödinger'in kedisi makalesi" adıyla bilinir oldu. Schrödinger'in makalesinde bahsettiği sözümona paradoksun önemini belirtmek veya açıklamasını yapmak için o günden beri, kuantum fizikçileri de dahil olmak üzere, kendini yiyip bitiren insanlar saymakla bitmez. Yıllar içinde, zamanda geçmişe gönderilen mesajlardan tutun, bilince sahip zihnin gerçekliği değiştirme gücüne varana kadar pek çok fantastik, egzotik çözümleme yapıldı. Schrödinger, eğer bir kediyi bir Geiger sayacı ve çok az miktarda rad-

yoaktif maddeyle birlikte bir süreliğine aynı kutuya koyarsak ne olacağını soruyordu. Kutudaki radyoaktif madde o kadar az ki, sonraki bir saat içinde yalnızca tek bir atomunun bozunma olasılığı yüzde elli. Bu bozunma sonunda radyoaktif atom bir atomaltı parçacık, örneğin bir alfa parçacığı fırlatacak. Eğer bu gerçekleşirse, Geiger sayacı tetiklenecek ve bir düzenek aracılığıyla harekete geçen bir çekiç, hidrojen siyanür dolu küçük bir deney tübünü kırarak. Ortaya çıkan asit gazı, kediyi anında öldürecek. (Söylemem gerekir mi bilmiyorum ama böyle bir deney gerçekte hiç yapılmadı elbette; zaten bu yüzden “düşünce deneyi” deniyor.)

Son bölümde gördüğümüz üzere radyoaktif bir atomun bozunma anı, ilkesel olarak bile önceden öngöremeyeceğimiz kuantum olaylarından biridir. Kuantum mekaniğin kurucularından Niels Bohr ve Werner Heisenberg’in açıkladığı ve savunuculuğunu yaptığı standart yoruma göre, bunun nedeni öngöründe bulunabilmek için yeterli bilgiye sahip olmamamız değildir. Bunun nedeni, kuantum düzeyinde, doğanın kendisinin bile bunun ne zaman gerçekleşeceğini bilmemesidir. Çoğu kişi bu durumun, daha önceden tartıştığımız Newtoncu determinizmden bizi kurtaran şey olduğuna inanıyor. Atomun bozunma anıyla ilgili tek söyleyebileceğimiz, maddenin yarı-ömrüne bağlı olarak, belirli bir süre sonunda atomun bozunma olasılığıdır yalnızca. Kutunun kapağını kapattığımız anda henüz bir atomun bozunmadığını biliyoruz. O andan sonra, bir atomun bozunup bozunmadığını bilmememiz bir yana, radyoaktif maddedeki her atomu, sözcüğün gerçek anlamıyla, aynı anda iki halde birden olarak tanımlamak zorunda kalırız: hem bozunmuş, hem de bozunmamış olarak. Bu iki halin olasılığından biri zamanla artarken diğeri azalır. Şunun altını çizmeliyiz: bu durum kutunun içinde neler olup bittiğini göremememizden kaynaklanan basit bir bilgisizlik meselesi değil. Kuantum dünyasının çalışma şekline dolaylı bize mecbur kılınan bir şey bu: mikroskobik dünyadaki atomlar ve diğer varlıkların davranışlarına, ancak hayaletimsi bir ara halde var olduklarını kabul edersek anlam verebiliriz.

Şekil 9.1. Schrödinger'in Kedisi



Doğadaki pek çok olayı açıklayabilmek için kuantum dünyasının ikili yapısını anlamak gerekir. Örneğin Güneş'in neden parladığını anlayabilmek için, Güneş'in içinde gerçekleşen termonükleer füzyon, olayını bu garip kuantum davranışıyla açıklamak gerekir. Günlük makrodünyamızda geçerli olan, sezgilerimize yatkın fizik yasaları, atomik çekirdeklerin nasıl birbirine kaynaşarak ısı ve ışık yaydığını açıklayamaz. Güneş'in yaydığı bu ısı ve ışık olmasaydı, biz de olmazdık. Atomların çekirdekleri kuantum kurallarına göre davranmasalardı, asla kaynaşacak kadar birbirlerine yaklaşamazlardı, çünkü artı elektrik yükleri çevrelerine birer kuvvet alanı oluşturur ve birbirlerini iterlerdi. Ara sıra bir araya gelerek kendilerini kuvvet alanının aynı tarafında bulmaları, bulanık ve dalga gibi yayılan kuantum birimleri olarak davranmaları yüzündendir.

Schrödinger kuantum dünyasının son derece garip olduğunu kabul etmekle birlikte, kedi de her biri kuantum mekaniğinin kurallarına uyan atomlardan yapılmış olduğundan dolayı, yazgısı bir kez radyoaktif atomunkiyle iç içe geçince (teknik terimiyle “dolanık” olunca), artık onu da aynı kuantum kurallarına göre değerlendirmek gerektiğini savundu. Eğer atom bozunmadıysa kedi canlıdır, bozunursa ölüdür. Dolayısıyla, eğer atom aynı anda her iki halde birdense, kedi de aynı anda iki halde birden olmalıdır: hem ölü hem de canlı bir kedi. Başka bir deyişle ne tam canlı, ne de tam ölüdür; belirsiz, fizik-dışı bir ara haldedir. Bu hal ancak kapı açıldığında öyle ya da böyle kesinliğe kavuşur. Standart kuantum mekaniğinin bize söylediği budur. Fakat bu çok anlamsız. Sonuçta baktığımız zaman kediyi asla ölü-ve-dirli halde görmeyiz, yine de kuantum fiziği, kedinin biz bakmadan önceki halini böyle tanımlamamız gerektiğini söylüyor.

Kulağınıza ne kadar saçma gelirse gelsin, bu fantastik kavramın, denklemleriyle birlikte odalarında biraz fazla uzun bir süre kapalı kalmış kuramsal fizikçilerin vardığı çılgın bir sonuçtan ibaret olduğunu sanmayın sakın. Bu, bilimin en güçlü ve güvenilir kuramlarının birinden türemiş bir çıkarımdır.

Umuyorum ki bu noktada şöyle bir itirazda bulunacaksınız; kedi *elbette ya* ölü, *ya da* canlı olmak *zorundadır*; kutuyu açmamız sonucu değiştiremez. Biz kutuyu açınca biraz önce neler olduğunu (veya olmadığını) öğreniyoruz o kadar. Schrödinger’in anlatmaya çalıştığı şey de tam olarak buydu. Yeni kurama bizzat büyük katkıları bulunmuş olmasına rağmen –ki kuantum fiziğinin en önemli denklemleri onun adıyla anılır– Schrödinger kuramın bazı çıkarımlarından rahatsızdı. Hatta 1920’lerde Bohr ve Heisenberg’le sırf bu konu üzerine birkaç entelektüel atışmaları olmuştu.

Fizikçi olmayan birine ne kadar dikkatlice anlatılırsa anlatılsın, kuantum mekaniğinin şaşırtıcı, hatta biraz uyduruk gelmesi kaçınılmazdır. Fakat gerçek şu ki, kuantum dünyasının davranışlarını tanımlayan kurallar ve denklemler hem mantıksal, hem de mate-

matiksel açıdan çok kesin bir şekilde tanımlanmışlardır ve belirsizlik içermezler. Bizzat kuantum fizikçilerinin bile denklemlerindeki soyut simgelerin gerçek dünyayla olan ilişkileri hakkında kendilerini rahatsız hissettikleri anlar olur. Fakat kuantum mekaniğinin zengin matematiksel çerçevesi o kadar başarılı olmuş ve o kadar kesin sonuçlar vermiştir ki, dünyaya dair temel gerçekleri yansıttığı konusunda şüpheye pek yer kalmamıştır. Peki kuantum mekaniğinin bütün o garip yanlarını bozmadan kedi paradoksunu çözmek mümkün mü? Bunu birlikte göreceğiz. Sonuçta kudretli cinlerle karşılaşarak geldiğimiz bu kadar yolu bir tane kedicik için geri dönecek halimiz yok.

Erwin Schrödinger

1925-1927 arasındaki dönem, bilimde daha önce ve sonra görülmemiş bir devrime tanık oldu. Bilim tarihinin elbette başka müthiş dönemleri de olmuştu. Kopernik, Galileo, Newton, Darwin, Einstein, Crick ve Watson gibilerinin sağladığı ilerlemeler dünyaya bakışımızı temelden değiştirmişti. Fakat bu büyük biliminsanlarının yaptığı büyük buluşların hiçbirinin bilimde kuantum mekaniğindeki kadar büyük bir devrim yaratmadığına inanıyorum. Kuantum mekaniği birkaç yıl gibi kısa bir zamanda gelişti ve gerçeklik anlayışımızı sonsuza dek değiştirdi.

Fiziğin 1920'lerin başlarındaki durumuna bir bakalım isterseniz. Tüm maddenin atomlardan oluştuğu o zamanlardan biliniyordu. Biliminsanları bu atomların içlerinin neye benzediği ve neyden oluştukları hakkında kaba bir fikre sahiptiler. Ayrıca, Einstein sağolsun, deney düzeneğine ve incelenen özelliğe bağlı olarak ışığın birbiri ardınca akan parçacıklar ya da yayılan dalgalar gibi davranmasının sağlanabileceği biliniyordu. Bunun garipliği yetmezmiş gibi, elektron gibi kütlesi olan parçacıkların da bu tarz davranabileceği yönündeki

kanıtlar gittikçe artıyordu.

Atomun içindeki elektronların çekirdeğin çevresinde nasıl dolandığıyla ilgili bir kuramsal model geliştiren Ernest Rutherford'da yardım eden Niels Bohr, 1916'da Manchester'dan Kopenhag'a muzaffera ne bir şekilde dönmüştü. Birkaç yıl içinde Carlsberg'in sağladığı mali kaynakla Kopenhag'da bir enstitü kurdu. Ardından 1922'de Nobel fizik ödülünü aldıktan sonra, zamanın en büyük bilim dehalarından bazılarını çevresine toplamak için işe koyuldu. Bu "genç yıldızlar"ın en ünlüsü Alman fizikçi Werner Heisenberg'di. 1925 yazında Almanların Heligoland adasında yakalandığı bir bahar nezlesini atlatma evresindeyken, atomların dünyasını tanımlamak için gereken yeni matematiği formüle etme yolunda çok önemli bir adım attı. Zaten kendisi de garip olan bu matematiğin atomlar hakkında söyledikleri daha da garipti. Örneğin Heisenberg ölçüm yapmadığımız zaman bir elektronun nerede olduğunu söyleyemeyeceğimizi iddia ediyordu. Dahası, bu elektronun belirli bir yeri de yoktu; bulanık ve bilinmez bir şekilde yayılmış durumdaydı.

Heisenberg, atomik dünyanın hayaletimsi, yarı-gerçek bir yer olduğu, yalnızca bir ölçüm aletiyle incelediğimizde keskin bir tanıma bürünerek somutlaştığı sonucunu çıkarmak zorunda kalmıştı. Bu durumda bile ölçüm aleti yalnızca ölçmek için özel olarak tasarlandığı özellikleri ortaya çıkarabiliyordu. Çok fazla teknik ayrıntıya girmeden şunu söyleyebiliriz: Elektronun konumunu ölçen bir aletle kesin konumunu, hızını ölçen bir aletle kesin hızını öğrenebiliriz, fakat aynı anda hem elektronun yerini, hem de hızını öğrenmemizi sağlayacak bir deney tasarlayamayız ve kuramayız. "Heisenberg Belirsizlik İlkesi" adıyla ünlenen bu düşünce, halen bilimin en önemli kavramlarından biridir.

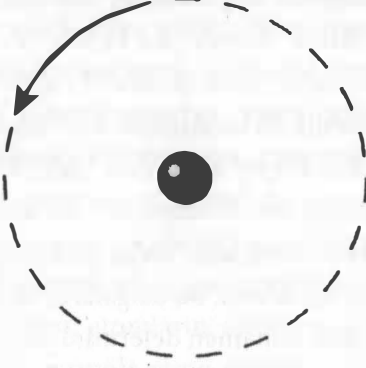
Ocak 1926'da, yaklaşık olarak Heisenberg'in düşüncelerini şekillendirdiği dönemde, Erwin Schrödinger atomun farklı bir resmini sunan, farklı bir matematiksel yaklaşımın hatlarını çizen bir makale yazdı. Onun atomik kuramına göre yörüngedeki elektronun konu-

mu, bulanık ve bilinemez olmaktan ziyade, atomik çekirdeği saran bir enerji dalgasına benziyordu. Elektronun sabit bir yeri yoktu çünkü gerçekten parçacık değil dalgaydı. Schrödinger, elektronun gözle seçilememesine neden olan bulanık resimle, bir buluta veya sis yumağına benzediği net ve odaklanmış resim arasındaki ayrımı ortaya koymak istiyordu. Her iki durumda da elektronun tam nerede olduğunu belirleyemeyiz, fakat Schrödinger elektronu “gerçekten” dalga gibi yayılmış olarak düşünmeyi tercih ediyordu –en azından biz bakana dek. Onun atomik kuram versiyonu “dalga mekaniği” adıyla bilinir oldu. Sonradan ünlü olan denklemi, bu dalgaların zaman içinde nasıl değiştiğini ve davrandığını tamamen deterministik yollardan açıklıyordu.

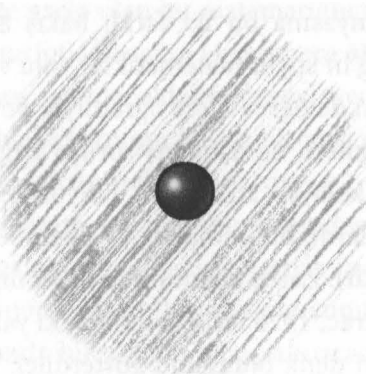
Günümüzde kuantum dünyasına bu iki farklı bakış açısından bakmayı öğrendik: Heisenberg’in soyut matematiksel yolu ve Schrödinger’in dalgalı yolu. Her ikisi de öğrencilere öğretiliyor ve her ikisi de işe yarıyor. Kuantum fizikçileri, uğraştıkları soruya bağlı olarak bir bakış açısından diğerine kolayca atlamasını biliyorlar. Önemli olan, ikisinin de aynı öngörülerde bulunmaları ve deneysel sonuçlarla güzel bir şekilde uyuşmaları. Zaten kuantumun diğer öncülerinden Wolfgang Pauli ve Paul Dirac, 1920’lerin sonunda iki yaklaşımın matematiksel açıdan tamamen denk olduğunu gösterdiler. Atomun ve yapıtaşlarının belirli bir özelliğini tanımlamak için hangisinin kullanılacağı tamamen tercih meselesiydi. Aynı şeyi iki farklı dilde tanımlamak gibi bir şey.

Kuantum mekaniği bir matematik kuramı olarak gerek atomların, gerekse elektronlar, kuarklar ve nötrinolar gibi maddenin tüm diğer yapıtaşlarının mikrodünyasını açıklamakta fevkalade başarılı olsa da, matematiği nasıl yorumlamamız gerektiği ve kuantum dünyasından büyük şeylerin alışageldiğimiz makrodünyasına geçişin nasıl olduğuna dair bazı çözümlenememiş soruları içinde barındırır. Schrödinger’in paradoksunda altını çizmek istediği sorun, mikrodünyadan makrodünyaya geçişte ortaya çıkıyordu.

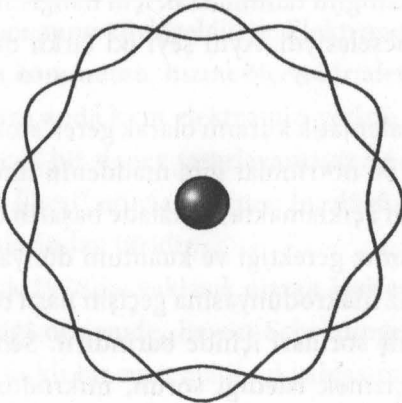
Şekil 9.2. Çekirdeğin etrafında dolanan tek elektronuyla hidrojen atomunun üç resmi



(a) Ernest Rutherford'a göre (1911)



(b) Werner Heisenberg'e göre (1925)



(c) Erwin Schrödinger'e göre (1926)

Kuantum süperpozisyonu

Yalnız bu hikâyede atladığımız önemli bir nokta var. Size trilyonlarca atomdan oluşan, aynı anda hem ölü hem de diri kedilerden bahsediyorum, atomların tek tek bakıldığında aynı anda iki halde birden bulunduklarına inanmanızı bekliyorum, iş bunun nedenini söylemeye gelince, “kuantum dünyası böyle gariptir” diye kestirip atıyorum. Fizikçiler atomların böyle davrandıklarına nereden bu kadar emin oluyorlar biraz ondan bahsetsek hiç fena olmayacak.

Kuantum nesnelerinin “iki (veya daha fazla) şeyi aynı anda yapma” veya “aynı anda iki (veya daha fazla) yerde olma” özelliğine “süperpozisyon (üst üste binme)” deniyor. Bu özellik size sandığınız kadar yabancı olmayabilir. Aslında süperpozisyon, kuantum mekaniğine özel bir kavram değil, dalgaların genel bir özelliği. Bunu en açık şekliyle su dalgalarında görebiliriz. Olimpik bir yüzücüyü seyrettiğinizi düşünün. Suyu girdiği anda girdiği noktadan dışarıya doğru yayılan dairesel dalgalar görürsünüz. Havuzun içinde pek çok insan olduğundaysa bundan çok farklı bir durum vardır; herkesin oluşturduğu dalgalar birbirinin içine geçer ve suyun yüzeyi çalkantılı olur. İşte ikinci durumdaki gibi dalgaların iç içe geçerek birbirine eklenmesine süperpozisyon denir.

Pek çok dalganın iç içe geçmesi oldukça karmaşıktır, iki dalganın iç içe geçmesini incelemek ise daha kolaydır. İki elinize birer çakıl taşı alıp durgun bir gölete aynı anda attığınızı hayal edin. Her biri dışa doğru yayılan dairesel dalgalar oluşturacak ve bu dalgalar birbirinin içine geçecektir. Bu süperpozisyonun fotoğrafını çekerseniz karmaşık bir desen görürsünüz. Bazı yerlerde iki tür uç nokta olur: iki dalganın tepelerinin birleşerek daha büyük bir çıkıntı yaptığı (“yapıcı girişim” denilen) yerler ve bir dalganın tepesinin diğerinin çukurunu tam olarak söndürerek bir anlığına sanki hiç dalga geçmiyormuş gibi duran (“yıkıcı girişim” denilen) yerler. Bu fikri aklınızda tutun: süperpozisyon halindeki, yani iç içe geçmiş haldeki iki dalga birbirlerini söndürebilir.

Şimdi gelin bunun kuantum dünyasındaki karşılığına bakalım. “Giri-

şimölçer” adı verilen aletlerle –ki bunlarla 5. bölümde ışık ve dalgalarının uzayda ilerlemelerini tartışırken karşılaşmıştık– iki dalganın nerede yapıcı, nerede yıkıcı girişim yaptığı anlaşılabilir. İçine tek bir dalga girdiğinde belirli bir sinyal üreten bir girişimölçerimiz olsun. Bu girişimölçeri, içine ikinci bir dalga girdiğinde, iki dalga girişim yaparak birbirlerini söndürecek şekilde ayarlayabiliriz. Bu sayede girişimölçere giren şeylerin dalga özelliği gösterdiğine emin oluruz.

İşin güzel tarafı, bazı girişimölçerler elektron gibi atomaltı parçacıkların gelişini saptayabilir. Bu parçacıklar bir aletten geçirilerek olası rotaları ikiye ayrılabilir. Bu sayede elektronlar, yolun sonunda tekrar birleşmeden önce iki farklı rota izleyebilirler. Böyle bir aleti içine ışık alacak şekilde kurarsak, “yarı-gümüşlenmiş ayna” sayesinde ışığı da ikiye ayırabilir. (Yarı-gümüşlenmiş ayna, ışığın yarısını içinden geçiren, diğer yarısını başka bir yöne doğru yansıtan yarı-saydam bir camdır). Böylece ilk baştaki ışıktan çıkan iki ışınımız olur. Bu iki ışın, ya da ışık dalgası, aletin içinde farklı yollardan geçip tekrar birleşirler. Bu noktada yaptıkları girişimin sonucu, her birinin kat ettiği yolun uzunluğuna bağlıdır. Eğer yollar tam aynı boydaysa, ışık dalgaları çakışır –bu durumda “fazları aynı” deriz. Fakat “fazları farklı” ise, bazı yerlerde yıkıcı girişim yaparlar ve buralarda ışık yokmuş gibi gözüktür. Şu anda bizim için önemli olan, bu durumun sadece iki dalganın birleştiği yerlerde ortaya çıkıyor olması.

İşte kuantum dünyasının şok edici özelliği. Aletin içine tek bir elektron gönderelim ve iki rotadan birinden gitmek zorunda bırakalım. Örneğin bir mıknatıs veya akım geçen bir telle elektronu iki yoldan birine saptırarak bunu başarabiliriz. Bu durumda sezgilerimiz bize ne diyor; elektron ya o yoldan, ya da öbür yoldan gidecektir değil mi? Fakat elektron tıpkı bir ışık dalgası gibi davranır ve nasıl oluyorsa ikiye ayrılıp *her iki yoldan birden gider*. Bunu nereden biliyoruz? Çünkü iki yolun birleştiği noktada ortaya çıkan sonuç, iki farklı dalganın aletin içinde farklı yollardan gittiğinde ortaya çıkan sonuçla tamamen aynı.

Kuantum mekaniğinin doğuşundan beri, fizikçiler elektron gibi parçacıkların böyle bir şeyi nasıl yapabildiğini anlamaya çalışıyor. Görünüşe

bakılırsa gerçekten aynı anda her iki yoldan birden gidebiliyorlar. Böyle olmasa, dalgalara özgü yapıcı ve yıkıcı girişim desenlerini gözlemleyemezdik. Zaten kuantum kuramı da tam böyle olması gerektiğini öngörüyor: bakmıyorken kuantum varlıklarını dalga olarak tanımlamamız gerekir. Fakat baktığımız anda, örneğin girişimölçerin içindeki yollardan birine bir tür dedektör yerleştirdiğimizde, elektronun o yoldan gidip gitmediğini gözlemleriz (ki eğer bu yoldan gitmediyse öbür yoldan gitti demektir). Sonuçta, elektron yoldayken bakarsak iki yoldan yalnızca birinden gittiğini görürüz. Fakat bunu yaparken kaçınılmaz olarak onun kuantum davranışını bozmuş oluruz ve dalga-benzeri girişim özelliği ortadan yokolur. Bu bir bakıma şaşırtıcı değil, çünkü elektron iki yoldan birden ilerlemiyor artık.

Buradan çıkan sonuç şu: Kuantum dünyasında cisimler onları gözlemleyip gözlemlemediğimize bağlı olarak farklı şekilde davranırlar. Bakmazken süperpozisyon halinde olabilir, birden fazla şeyi aynı anda yapabilirler. Baktığımız anda, çeşitli seçenekler arasında aniden bir seçim yaparak sağduyuya uygun davranmak zorunda kalırlar. Kedili kutunun içindeki radyoaktif atom, gerçekten de aynı anda hem bozunmuş hem de bozunmamış durumdadır; bu iki kuantum hali süperpozisyon halindedir. Yani bunun nedeni, ne olduğunu bilmediğimizden dolayı her iki halin olasılığını da mümkün olarak değerlendirmemiz değildir; bunun nedeni, atomun *gerçekten de* iki halin hayaletimsi bileşkesi halinde olmasıdır.

Ölçüm sorunu

Atomların davranışlarını matematik denklemleriyle açıklamak çok güzel, fakat bilimsel kuramlar, ancak gerçek dünyaya ilişkin yaptıkları öngörüler ve bu öngörülerini test etmek için yaptığımız deneylerin sonuçları kadar değerlidir. Kuantum mekaniği atomik dünyada biz bakmazken olanları açıklar (ki bu biraz soyut bir matematik tanımı); ama aynı zamanda ölçüm yaparsak ne çıkacağı konusunda inanılmaz derecede doğru öngörülerde

bulunur. Fakat gerçekliğin biz bakmazkenki tanımından biz bakarkenki tanımına geçiş süreci hâlâ gizemini koruyor. Buna ölçüm sorunu diyoruz. İfadesi kolay: atomlar yerelleşmiş parçacıkken nasıl çoklu yayılmış dalgaya dönüşüp ardından biz bakınca tekrar konumlu parçacığa dönüşüyor?

Bütün başarısına rağmen kuantum mekaniği, örneğin bir elektronun atomun çevresinde dolaşmasını açıklayan denklemlerden, elektronla ilgili ölçüm yaptığımızda gördüğümüz şeye nasıl geçildiği hakkında hiçbir şey söylemiyor. Kuantum mekaniğinin kurucuları bu durumun üstesinden gelebilmek için kuantum kuramına bir dizi özel ve geçici kural getirdiler. “Kuantum Postülatları” denilen bu kurallar, matematiksel öngörüler, gözlemlediğimiz somut özelliklere çevirebilmek için –örneğin elektronun herhangi bir andaki yerini belirleyebilmek için– bir tür kılavuz niteliği taşırlar.

Elektronun “*hem orada hem burada*” durumundan, baktığımız anda “*ya orada ya burada*” durumuna geçişinin gerçekte nasıl olduğunyuysa kimse bilmiyor. Çoğu fizikçi “demek ki doğada böyle oluyor” diyen Niels Bohr’un pratik açıklamasından memnun gözüküyor. Bohr bu durumu “makroboyuta geçişin geri döndürülemez etkisi” diye adlandırmıştı. Yirminci yüzyıldaki çoğu kuantum fizikçisi için bu açıklamanın yeterli olması akıl almaz bir durum. Bohr garip şeylerin olmasında bir sakınca olmayan kuantum dünyasıyla, her şeyin sezgilere uygun davrandığı makrodünya arasında keyfi bir ayırım yapmıştı. Elektronu bakan ölçüm aleti makrodünyanın bir parçasıydı. Fakat bu sürecin *nasıl ve neden* ve *ne zaman* gerçekleştiği açıklanmamıştı. Schrödinger’in sorusu buydu: mikroyla makro arasındaki ayırım çizgisi nerede? Büyük olasılıkla atomlarla kediler arasında bir yerde, fakat kediler de atomlardan oluştuğuna göre bu ayrımı neye göre yapıyoruz? Ayrıca Geiger sayacı olsun, girişimölçer olsun, hatta kedi olsun, hepsi sonuçta atomlardan yapılmıştır, o zaman kuantum kurallarının geçerli olduğu kuantumun alanıyla ölçüm aletlerinin makrodünya arasına çizgiyi nereye çekeceğiz? Ölçüm aracı derken kastettiğimiz şeyin diğer şeylerden ne farkı var?

Günlük büyük cisimler dünyamızda, bir şeyin bize görüldüğü halinin “gerçek” hali olduğundan şüphe etmeyiz. Fakat bir şeyi görebilmemiz için

ondan çıkan ışığın gözüümüze ulaşması gerekir. Gelgelelim, görmek istediğimiz şeyin üzerine ışık düşürdüğümüzde o şey etkilenmiş olur ve ışığın çarpıp sekmesiyle küçücük de olsa bir değişikliğe uğrar. Araba, sandalye veya insan, hatta mikroskop altındaki canlı hücre gibi büyük şeylere baktığımızda bu sorun olmaz; ışık parçacıkları, yani fotonların gözlemlenen cismin üzerine düşüp sekmesi bizim saptayabileceğimiz bir değişikliğe yol açmaz. Fakat zaten kendileri fotonla aynı boyutlarda olan kuantum cisimleriyle uğraşırken işler değişir. Sonuçta her etki, eşit büyüklükte ve ters yönde bir tepkiye neden olur. Elektronu görmek için üzerinden foton sektirdiğimiz anda o elektronu ilk yolundan saptırmış oluruz.

Başka bir deyişle, bir sistem hakkında bilgi sahibi olmak için ölçüm yapmamız gerekir, fakat ölçüm yaptığımızda kaçınılmaz olarak onu değiştirmiş oluruz, bu yüzden gerçek doğasını göremeyiz. Yapmaya çalıştığım bu basit açıklama, kuantum ölçümlerinin inceliklerine hakkını tam veremiyor, fakat umarım size bir fikir vermiştir.

Burada biraz duralım ve geldiğimiz yere bakalım. Kuantum dünyası hem güvenilirmez, hem de sinsî; günlük hayatımızda imkânsız olan şeylere izin verdiği yetmezmiş gibi, bu imkânsız şeyler olurken izlememize de izin vermiyor. Schrödinger'in kutusunu açınca ya ölü ya da diri bir kediyle karşılaşacağız, asla ikisinin iç içe geçmiş haliyle değil. Bu yüzden paradoksu çözmeye yaklaştığımızı pek söyleyemeyiz.

Umutsuz girişimler

Peki Schrödinger'in makalesine fizikçiler nasıl tepki verdiler? Bohr ve Heisenberg kutu açılmadan önce kedinin hem ölü, hem diri olduğunu iddia etmedi. Paradoksa kabul edilebilir bir yanıt vermektense, zekice bir argümanla işin içinden çıktılar. Kediyle ilgili bir şey söyleyemeyeceğimizi, hatta kutuyu açıp bakmadan önce kediye bağımsız bir gerçeklik veremeyeceğimizi iddia ettiler. Kedinin aynı anda hem ölü, hem de diri mi olduğu uygun bir soru değildi.

Onların mantığına göre kutunun kapalı olduğu süre boyunca kedinin “gerçek” haliyle ilgili hiçbir şey söyleyemeyiz. Tek yapabileceğimiz, *kutuyu açtığımızda* denklemlerin ne öngördüğüne bakmaktır. Dolayısıyla kuantum mekaniği kutunun içinde ne olup bittiğini, açınca neyle karşılaşacağımızı söyleyemez, en fazla kediyi ölü veya diri bulma olasılıklarımızı söyleyebilir. Böyle bir deney gerçekten yapılırsa ve defalarca tekrar edilse, kurban edilen onca kedinin sonunda bu öngörülerin doğru olduğu ortaya çıkar (tıpkı yazı-turadaki yüzde 50-50 olasılığını göstermek için defalarca yazı-tura atmamız gerekmesi gibi). Bu kuantum olasılıkları son derecede doğrudur, fakat bu hesaplamaları yapabilmek için, atomun iki durumun süperpozisyonunda olduğunu baştan kabul etmemiz gerekir.

Kuantum garipliklerini tümünden açıklamaya kalkışmasalar da, yıllar içinde pek çok fizikçi kuantum dünyasında olup bitenlerle en azından yüzleşmeye çalıştı. En uçuk önerilerden bazıları Scrödinger’in kedisine yanıt olarak ortaya atıldı. “Transaksiyonel kuram” denilen bir fikre göre, yalnızca uzayın farklı noktaları arasında anında bağlantılar kurulmaz (ki bu bile başlı başına çok iddialı bir düşünce), ayrıca zamanın farklı noktaları arasında da anında bağlantılar kurulur. Bu görüşe göre, Schrödinger’in kutusunu açınca geçmişe bir sinyal gider; bu sinyal geçmişteki radyoaktif atoma bozunup bozunmama yönünde bir “karara varmasını” söyler.

Hatta bir aralar, yapılan ölçümün kuantum dünyasını makrodünyaya dönüşmeye zorlamak için insan bilincine ihtiyaç duyduğu fikri moda olmuştu. Bu görüşe göre bilincin eşsiz bir özelliği vardır; “makroboyuta geçişin geri döndürülemez etkisi”nin ortaya çıkmasına ve kuantum süperpozisyonlarının ortadan kalkmasına neden olur. Sonuçta süperpozisyonların kuantum dünyası ve kesin sonuçların makrodünyası arasına sınırın nereye konulacağını kimse bilmediğine göre, belki de bu sınırı yalnızca gerçekten ihtiyaç duyduğumuzda koymalıyız. Ölçüm aletleri (dedektör, ekran, kedi) de her ne kadar büyük olsalar da sonuçta biraraya gelmiş atomlardan oluşurlar, dolayısıyla tüm diğer kuantum sistemleri gibi davranmaları gerekir. Demek ki kuantum açıklamasını, yalnızca ışın içine bilinçlerimizin girdiği noktada terk etmemiz gerekir.

Ölçülenle ölçen arasındaki çizgiyi insan bilincinin olduğu yere çizme fikrine felsefeciler “solipsizm” diyorlar, yani gözlemcinin Evren’in merkezinde olduğu ve kendisi dışındaki her şeyin kendi hayalinin bir ürünü olduğu düşüncesi. Bu görüş yıllar önce saygınlığını yitirdi çok şükür. Akıllara durgunluk veren, bazen de can sıkıcı şey şu ki, fizikçi olmayan pek çok insan, kuantum fiziğini ve bilincin doğasını tam olarak anlamadığımıza göre ikisinin sihirli bir şekilde birbiriyle ilişkisi olması gerektiğini savunuyorlar. Her ne kadar eğlenceli olsalar da bu tür desteksiz fikirlerin ciddi bilimde yeri yok (en azından şimdilik).

Peki ya kedi? Onun da bilinci yok mu? Kutunun içindeyken o da “gözlem” yapamaz mı? Bu fikri test etmenin oldukça basit bir yolu var. Kedi yerine gönüllü bir insan koyalım. Ölümciül gazı da bayıltıcı bir gazla değiştirebiliriz –zaten kedide neden böyle bir gaz kullanmadık ki? Şimdi kutuyu açtığımızda ne olur? Gönüllüyü hem bayılmış, hem de bayılmamış halde bulacak değiliz. Kutudan çıkarmadan önce her iki halde birden olduğuna inandırmak da zor. Eğer bayılmamışsa, biraz gergin olmasını saymazsak, deney boyunca kendini iyi hissetmiştir. Eğer bayılmışsa, kendine geldiği zaman, kutunun kapanmasından örneğin 10 dakika sonra aletin harekete geçtiğini, hemen sonra başının dönmeye başladığını, hatırladığı bir sonraki şeyin burnuna çarpan kolonya kokusu olduğunu söyleyecektir.

Sonuç olarak, atomlar süperpozisyon halinde varlıklarını sürdürseler de gönüllünün böyle bir şey yaşamadığı kesin. Gönüllünün doktora yapmış olması, veya beyaz önlük giymiş olması gibi etkenler deneyin sonucunu etkilemeyeceğinden, gönüllüyle kedi arasına anlamlı bir çizgi çizemeyiz. Dolayısıyla kutunun kapağını açmadan önce söz konusu kedinin aynı anda hem ölü, hem de diri olmasını gerektiren bir neden olamaz.

Kuantum sızıntısı

Eğer kedi farklı hallerin süperpozisyonunda değilse, o zaman kuantum mikrodünyasıyla bizim makrodünyamız arasındaki ayrım çizgisi bü-

yük olasılıkla kuantum tarafına daha yakın olmalıdır. “Ölçüm” sözcüğüyle ne kastettiğimize daha yakından bakalım.

Toprağın derinlerine gömülü bir kayanın içindeki bir uranyum atomunu düşünün. Bu tür atomlar çok nadiren kendi kendilerine “fizyon” a uğrarlar, yani birbirinden ayrı yönlerle gidecek şekilde ikiye parçalanır ve yüksek miktarda enerji açığa çıkarırlar. Nükleer reaktörlerde ısı ve dolayısıyla elektrik sağlayan enerji fizyon enerjisidir. Her biri baştaki uranyum atomu çekirdeğinin kabaca yarısı kadar olan atomik çekirdek parçaları, birbiri ardınca belirir ve farklı yönlere uçar. Kuantum mekaniği, ölçüm yapmadan önce bu parçaları aynı anda her yöne doğru uçmuş olarak düşünmemiz gerektiğini söylüyor. Daha kolay anlaşılması açısından, bunları parçacık olarak değil de gölete attığımız çakıltaşında olduğu gibi dalga olarak düşünebiliriz. Bu fizyon kırıntıları, kayanın içindeki belli bazı minerallerde mikroskopla görülebilen küçük izler bırakırlar. Milimetrenin binde biri uzunluğundaki bu izleri inceleyerek kayaların radyometrik tarihlendirmesini yapabiliyoruz.

Dolayısıyla mesele şu; bu izler kuantum dünyasında oluştuğuna göre, ölçüm yapana kadar hem oluştuklarını (uranyumda fizyonun gerçekleştiğini) hem de oluşmadıklarını (fizyonun gerçekleşmediğini) söylemek durumundayız. Ve eğer oluşlarsa, parçacıklar her yöne dağılmıştır diye açıklamamız gerekir. Peki ama burada ölçümden kasıt ne? Kaya biz mikroskopla bakana değil, izlerin hem çizildiği hem de çizilmediği bir arafta mı bekliyor? Elbette hayır; izler ya orada ya da değil. Kayayı bugün incelesek de, yüz yıl sonra incelesek de, hatta hiç incelemesek de farketmez.

Kuantum dünyasının ölçümleri her an yapılıyor olsa gerek. Bilinçli gözlemciler, laboratuvar önlükleri giysin veya giymesin, bir rol oynuyor olamaz. Doğru tanıma göre, bir “olay” veya “fenomen” kaydedildiği anda ölçüm yapılmış sayılır, çünkü olayın, daha sonradan dilersek algılayabileceğimiz bir izi bırakılmıştır.

Bu size o kadar bariz gelebilir ki kuantum fizikçileri nasıl bunu akıl edemeyecek kadar ahmak olabilir diye kendi kendinize sorabilirsiniz.

Fakat öte yandan, kuantum mekaniğinin bazı öngörülleri tamamen mantığın sınırları dışında yer alır. Kuantum dünyasındaki olayların nasıl kaydedildiğine dair daha net bir resim gerekiyor bize, çünkü (aynı anda iki farklı yöne gitme, aynı anda bir şeyi hem yapıp hem de yapmama gibi) kuantum garipliklerinin sızdığı yer orası olsa gerek.

1980 ve 90'larda fizikçiler neler olduğunu daha iyi kavramaya başladılar. Yalıtılmış bir kuantum sisteminin, örneğin tek bir atomun, makrodünyadan bir ölçüm aracıyla etkileşime girdiğinde ve yalnız başına süperpozisyon hali son bulduğunda neler olduğunu düşündüler. Gördüğümüz gibi buradaki ölçüm aracı bir kaya bile olabilir. Kuantum mekaniği, ölçüm aracını meydana getiren trilyonlarca atomun da süperpozisyon halinde olması gerektiğini söyler. Ne var ki bu kadar büyük makroskobik bir alette bu narin kuantum etkileri aşırı karmaşıktırları için korunamazlar ve sıcak bir cisimden çevreye yayılan ısı gibi sızıp giderler. "Eşevresizlik"* adı verilen bu olay günümüzde de önemli bir tartışma ve araştırma konusudur. Bunu şöyle düşünebiliriz: tek ve narin süperpozisyon, makroskobik sistemdeki tüm atomların arasındaki olası farklı etkileşim kombinasyonlarından kaynaklanan muazzam sayıdaki diğer olası süperpozisyonlar arasında tekrar elde edilemez biçimde kaybolur. İlk süperpozisyonu tekrar elde etmek, iskambil kağıtlarını karıştırarak ilk baştaki dizilimi elde etmeye benzer, fakat bunun çok çok daha zordur.

Günümüzde pek çok fizikçi, eşevresizlik olayını Evren'in her yerinde sürekli olan gerçek bir fiziksel olay olarak değerlendiriyor. Bir kuantum sistemi ne zaman çevresinden yalıtılmışlık özelliğini yitirirse, bu olay meydana geliyor. Yalıtılmış özelliğini yitirmesine neden olan şey ölçüm yapan bir Geiger sayacı da olabilir, bir kaya da, hatta hava molekülleri de; yani illa bilinçli bir gözlemci olması gerekmez. Eğer dış çevresiyle olan bağı yeterince güçlüyse, başlangıçtaki narin süperpozisyon hemen kayboluyor. Hatta eşevresizliğin bütün fizikteki en hızlı ve verimli süreçlerden biri olduğunu söyleyebiliriz. Bu kadar uzun zaman boyunca keşfedilmeden kalabilmesinin sorumlusu da böylesi müthiş

* İng: decoherence

verimli olması. Fizikçiler nasıl inceleyeceklerini ve kontrol edeceklerini yeni yeni öğreniyorlar.

Eşevresizlik henüz tam anlaşılmasa da, artık en azından paradoksumuza bir anlam verebiliriz. Schrödinger'in kedisini aynı anda hem ölü hem de diri olarak görmememizin nedeni, eşevresizliğin biz kapıyı açmadan çok önce, Geiger sayacının içinde gerçekleşmesi. Atomun bozunup bozunmadığını belirleme becerisinden dolayı, Geiger sayacı atomu karar vermeye zorluyor. Bu yüzden, herhangi bir zaman aralığında atom bozunacak veya bozunmayacak; eğer bozunduysa Geiger sayacı bunu belirleyip kediyi öldüren hareket silsilesini başlatacak, bozunmadıysa bir şey yapmayacak. Kuantum dünyasının süperpozisyonundan kurtulduktan sonra artık geriye dönüş olmaz; bu noktadan sonra basit istatistiksel olasılık devreye girer.

Cambridge'li iki bilim adamı Roger Carpenter ve Andrew Anderson, yaptıkları zekice bir deney sonrası 2006'da yayınladıkları bir makalede, süperpozisyonun çöküşünün ve kuantum garipliğinin dışarı sızmasının bizzat Geiger sayacı düzeyinde gerçekleştiğini gösterdiler. Çoğu kuantum fizikçisinin artık bilmecenin ortadan kalktığına inan-dıklarından olsa gerek, deney pek ilgi uyandırmadı.

Anlaşılan eşevresizlik, yalnızca Schrödinger'in kedisinin neden aynı anda hem canlı hem de ölü olduğunu açıklamakla kalmıyor, neden hiçbir zaman ara-halde bulunmadığını da açıklıyor. Fakat eşevresizlik bize iki seçenekten birinin neye göre seçildiğini söylemiyor elbette. Kuantum mekaniği olasılıksal yapısını koruyor; bireysel ölçümlerin öngörülemezliğinin bir yere kıpırdadığı yok.

Aslına bakarsanız, eğer çoklu-evren kuramına göre düşünecek olursak, iki olası seçenekten birinin neye göre seçildiğini açıklamak da gerekmiyor. Bu durumda kedi bir evrende canlı, bir başka evrende ölü olacak. Kutuyu açtığınızda kedinin yaşadığı evrende mi yoksa öldüğü evrende mi bulunduğunuzu anlarsınız. Hangi evrende bulunursanız bulunun, kutuyu açtığınızda diğer seçenекle karşılaştığınız bir başka evrende bir başka siz hep olacak. Basit aslında.

ON

Fermi Paradoksu

Nerede bunlar?

NOBEL ÖDÜLLÜ İTALYAN Amerikalı fizikçi Enrico Fermi kuantum mekaniğine ve atom fiziğine çok önemli katkılar sağlamıştır. 1940'ların başında ilk nükleer reaktör Chicago Pile-1'i o inşa etti. İki temel parçacıktan biri, "fermion", onun adıyla anılır (diğeri "bozon"). Hatta adını taşıyan bir uzunluk birimi bile vardır: "fermi". Bir femtometre, yani milimetrenin trilyonda biri olan fermi, daha çok nükleer ve parçacık fiziğine uygun bir birimdir. Fakat Fermi'nin 1950'de sorduğu bu bölümde bakacağımız soru, onun atomaltı fiziğindeki araştırmalarına dayanmıyor. Bu soru, tüm paradoksların en temel ve en önemlisiyle ilgili. O yüzden en sona sakladım.

Fermi bu ünlü sorusunu, atom bombası ve Manhattan Projesi'ne evsahipliği yapan New Mexico'daki Los Alamos Ulusal Laboratuvarı'nı bir yaz günü ziyaret ettiğinde birkaç meslektaşıyla öğle yemeği sohbeti sırasında sormuştu. Sohbet, uçan dairelerin uzak yıldız sistemlerinden Dünya'yı ziyarete gelmek için ışık hızını aşıp aşamayacaklarıyla ilgili neşeli bir tartışma etrafında dönüyordu.

Fermi Paradoksu'nu şöyle ifade edebiliriz:

Evren çok yaşlı ve çok büyük. Sırf Samanyolu'nda bile milyarlarca yıldız var. Bu yıldızların çoğunun çevresinde dönen kendi gezegenleri var. Eğer Dünya yaşamı meydana getirecek koşulları sağlaması açısından son derece sıradışı bir örnek değilse, Evren'in yaşamla dolup taşıyor olması gerekir. Ve bunların bir kısmının zeki uygarlıklar kurmuş olması gerekir. Bu zeki uygarlıklarınca bir çoğunun uzay yolculuğu için gerekli teknolojiye ulaşmış bizi şimdiye kadar ziyaret etmiş olması gerekirdi.

Peki o zaman nerede bunlar?

Bizim güneş sistemimiz en az bir tane yaşanılabilir gezegene sahip olma açısından eşsiz değilse, alçakgönüllü de olsa azıcık yayılma hevesleri ve yeterince gelişmiş uzay yolculuğu teknolojileri olan herhangi bir uzaylı uygarlığın şimdiye bütün galaksiyi kolonileştirmiş olması gerekirdi, çünkü bunun için bol bol zamanları vardı. Fermi'ye göre bu aşıkardı. Diğerleriyle birlikte yaptığı tahminlere göre, herhangi bir türün bunu yapması 10 milyon yıl alırdı. Kabaca hesaplandığı çok belli olan bu sayı her ne kadar çok uzun bir zaman gibi gözükse de, galaksinin yaşıyla karşılaştırıldığında kısacık bir zamana –sadece binde birine– karşılık gelir. Ayrıca insanoğlunun sadece 200.000 yıldır ortalarda olduğunu unutmayın.

Dolayısıyla paradoksu şu iki soruya indirgeyebiliriz:

- Eğer yaşam çok özel değilse diğerleri nerede?
- Yok eğer yaşam çok özelse nasıl oluyor da Evren yaşamın sadece Dünyada ortaya çıkacağı şekilde ince bir ayara sahip?

Kendi gezegenimizin en zor koşullara sahip olan bölgelerinde bile yaşamın tomurcuklanıp serpildiğini düşünürsek, neden aynı şey diğer Dünya-benzeri gezegenler için de geçerli olmasın? Belki sorun yaşam bir kez ortaya çıktıktan sonra yayılmasında değil, ilk kez ortaya çıkmasındadır. Biliminsanlarının bu paradoksu ve içerdiği diğer meseleleri çözüp çözmediğine bakmadan önce, gelin bugüne kadar getirilen bazı önerilere kısaca bakalım.

- 1 **Uzaylılar var ve bizi zaten ziyaret ettiler.** Bu ilk seçeneği hemen eliyorum çünkü UFO meraklılarının ve komplo teorisyenlerinin fantastik hezeyanlarını destekleyen hiçbir mantıklı neden yok elimizde. Buna rağmen pek çok insan uzaylıların uçan daireleriyle geldiğine inanmayı sürdürüyor. Bazılarına göre binlerce yıl önce ziyarete gelip, gitmeden önce piramitleri inşa etmişler, bazılarına göre hâlâ buradalar, masum kurbanlarını kaçırpı üzerlerinde garip garip deneyler yapıyorlar.
- 2 **Uzaylılar orada ama bizimle iletişime geçmiyorlar.** Yeterince gelişmiş uzaylı uygarlıkların bizi varlıklarından haberdar etmemeleri için akla gelebilecek pek çok neden var. Örneğin belki (bizden farklı olarak) varlıklarını galaksinin her yerine duyurmak istemiyorlar, ya da belki biz galaktik kulübe üye olmayı hak edecek kadar gelişene dek bizi yalnız bırakmayı tercih ediyorlar. Tabii burada tüm uzaylı uygarlıkların bizimkine benzer düşünme süreçlerini izlediğini varsayıyoruz.
- 3 **Doğru yere bakmıyoruz.** Elli yıldır uzaydan gelebilecek sinyalleri dinliyor olmamıza rağmen hâlâ bir şey duyamadık. Fakat belki de uzayın doğru bölgesine bakmamız veya doğru frekansa ayarlamamız gerekiyordur; ya da belki sinyaller ve mesajlar çoktan varmıştır ama biz onları nasıl çözeceğimizi bilmiyoruzdur.

4 Diğer yerlerde yaşam sürekli yok ediliyor. Dünya'da olmanın ne kadar ayrıcalıklı olduğunu taktir etmiyoruz olabiliriz. Diğer güneş sistemlerindeki yaşamı destekleyen gezegenler, sürekli gezegenleri çapında, yıldızları çapında veya galaksileri çapında felaketlere maruz kalıyor olabilir; bu gezegenler buzul çağları gibi, göktaşı veya kuyruklu yıldız çarpması gibi, güneş patlamaları veya gama-ışını saçılmaları gibi çeşit çeşit felaketlerle baş etmek zorunda olabilir. Bu gibi olayların sık sık yaşandığı yerlerde yaşam, uzay yolculuğuna çıkabilecek kadar zeki türlerin evrilmesine yetecek zamana sahip olmayabilir. Ya da belki tam tersi geçerlidir; diğer gezegenlerdeki koşullar o kadar rahattır ki biyoçeşitliliğe yol açarak zekânın evrilmesine neden olan kitlesel yokoluşlar yaşamıyordu.

5 Kendini yok etme. Evren'deki zeki yaşamın kaçınılmaz olarak kendini imha edeceği iddia edilmiştir. Ya savaş, ya hastalık sonucu, ya da uzay yolculuğu için yeterince yüksek teknolojiye sahip olmasına yakın kendi yaşam alanını yok etme sonucu zeki türler kendilerini imha ediyor olabilir –ki eğer bu doğruysa bizim için bir felaket habercisi olabilir.

6 Uzaylılar biraz fazla ... uzaylı. Uzaylıların bize benzediklerini, bizim yakında geliştireceğimizi hayal ettiğimiz teknolojilere sahip olduklarını varsayma eğilimindeyiz. Bu şekilde düşünmek için iyi nedenler olsa da –ki sonuçta bütün yaşamın fizik yasalarına uyması gerekiyor– bizden yeterince farklı zeki yaşamları kavrayabilecek hayal gücüne sahip değilizdir belki. Hepsinin filmlerdeki uzaylılara benzediğini sanıyoruz demiyorum elbette, fakat karbon-bazlı olduklarını, uzuvları ve gözleri olduğunu, birbirlerine ses dalgaları göndererek haberleştiklerini varsayma eğilimindeyiz.

- 7 **Evren’de gerçekten yalnızız.** Belki yaşamın ortaya çıkması için gerekli koşullar o kadar enderdir ki yalnızca birkaç yerde olmuştur. Dünya ise bunların arasında uzaya sinyal göndererek varlığını duyurabilecek kadar zeki canlıların evrildiği tek gezegendir. Ya da belki gezegenimiz gerçekten de Evren’de yaşamın ortaya çıktığı tek yerdir.

Yukarıdaki senaryoların hepsi sadece tahminden ibaret, üstelik çoğu da eğitimden uzak tahminler. Fermi’nin kendi görüşüne göre, galaksinin başka yerlerinde zeki yaşamın varlığı neredeyse kesin olsa da, yıldızlararası yolculuk için söz konusu olan mesafeler o kadar büyük, ve ışık hızı sınırından dolayı bunları kat etmek için gereken süreler o kadar uzundur ki, diğer uygarlıklar bizi ziyaret etme zahmetine katlanmazlar.

Fermi’nin hesaba katmadığı bir şey vardı. Teknolojik açıdan gelişmiş uzaylıların farkına varmamız için mutlaka gezegenlerini terketmeleri gerekmez. Sonuçta, biz varlığımızı neredeyse yüz yıldır galaksiye duyuruyoruz. Dünya çapında bilgi aktarmak için radyo ve televizyon kullanmaya başladığımızdan beri Dünya’dan uzaya sinyaller yayılıyor. Onlarca ışık yılı uzaklıktaki bir uzaylı uygarlık, radyo teleskoplarını bizim Güneşimize doğru çevirirse, çevresindeki gezegenlerden birinde yaşam olabileceğinin işareti olan, olağandışı miktarda, zayıf ama karmaşık radyo sinyalleri algılayacaktır.

Evren’in her yerinde fizik yasalarının aynı olduğuna inanıyorsak, bilgi aktarmanın en kolay ve en kullanışlı yollarından biri elektromanyetik dalgalar kullanmak olduğuna göre, uzaylıların da gelişimlerinin bir evresinde bu iletişim biçimini kullanmasını bekleriz. Ve eğer kullanıyorlarsa sinyallerden bir kısmının ışık hızında uzaya yayılması gerekir.

Yirminci yüzyıl gökbilimcilerinin, yeni geliştirdikleri radyo teleskoplarını kullanarak uzaydan gelebilecek sinyalleri dinlemeyi ciddi anlamda düşünmeleri çok sürmedi. Ve ciddi Dünya-dışı zekâ aramaları tek bir adamla başladı.

Drake ve denklemi

İlk ciddi E.T. avcısı, Batı Virginia'da, Green Bank'teki Ulusal Radyo Gökbilim Gözlemevi'nde* çalışan gökbilimci Frank Drake'tir. 1960'ta radyo dalgası frekanslarındaki elektromanyetik sinyalleri dinleyerek uzak yıldız sistemlerindeki yaşam belirtilerini aramak için bir deney hazırladı. Projenin adı Ozma'ydı. Ozma adı, Frank Baum'un çocuk kitaplarındaki Zümrüt Şehri Oz'un yöneticisi Prenses Ozma'dan geliyordu.

Drake radyo teleskobunu yakınlardaki iki Güneş-benzeri yıldıza, "Tau Ceti" ve "Epsilon Eridani"ye yöneltti. Sırasıyla 12 ve 10 ışık yılı uzaktaki bu iki yıldız, yaşanabilir gezegenler barındırmak için mantıklı seçenekler gibi duruyorlardı. Çanağını belirli özel bir frekanstaki radyo sinyallerini alabilecek şekilde ayarladı: Evren'deki en hafif, en basit ve en çok bulunan element olan hidrojenin ürettiği oldukça özel elektromanyetik ışınmaya. Bu frekans, kendisini duyurmak isteyecek bir uygarlık için en uygun seçim olsa gerekti. Verileri kaydedip, acaba arka plan hisırtısının üstüne eklenmiş bir sinyal var mı diye dikkatlice kontrol etti. Aylar boyunca ara ara kaydedilmiş saatlerce süren kayıtları inceledikten sonra, hiçbir ilginç sinyal bulamadı. Gerçi bir tane bulmuştu ama onun da yüksekten uçan bir uçaktan geldiği anlaşıldı. Fakat Drake'in umudu kırılmadı. Bu işin piyango bileti almaktan pek farkı olmadığıнын bilincindeydi; bir şey bulabilmek için inanılmaz şanslı olması gerektiğini biliyordu.

Hevesinde bir azalma olmaksızın, bir sonraki yıl ilk SETI (Dünya-dışı Zekâ Araştırmaları)** konferansını düzenledi. O dönemde konuyla ilgilendiğini bildiği diğer on iki biliminsanın hepsini çağırdı.

Zihinlerini odaklayabilmeleri için, galaksimizdeki radyo sinyalleri Dünya'dan saptanabilecek olan uygarlık sayısını (N) hesaplamaya yönelik matematiksel bir formül geliştirdi. Bu sayıya ulaşmak için yedi sayıyı birbiriyle çarpıyordu. Günümüzde onun adıyla anılan formül şöyledir:

* National Radio Astronomy Observatory in Green Bank

** Search for Extraterrestrial Intelligence

$$N = R_* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

Açıklaması oldukça basit. Bu sayıların herbirinin ne anlama geldiğine bakalım. Vardığı sonucu nasıl elde ettiğini görmek açısından Drake'in ilk hesaplamasında kullandığı değerleri parantez içinde belirttim. İlk simge, R_* , her yıl galakside oluşan yeni yıldız sayısını gösteriyor (Drake bu sayıyı yılda 10 olarak varsaydı). İkincisi, f_p , gezegen sistemi olan yıldızların oranı (0,5); n_e , yıldız sistemi başına yaşam için uygun ortamı olan gezegen sayısı (2); f_l , yaşamın ortaya çıktığı gezegenlerin oranı (1); f_i , zeki yaşamın ortaya çıktığı gezegenlerin oranı (0,5); f_c , uzaya varlıklarına dair işaret yayacak bir teknoloji geliştirenlerin oranı (1). Son olarak L , bu tür uygarlıkların uzaya saptanabilir sinyal yaydıkları süre (10.000 yıl). Drake bu yedi sayıyı çarpınca $N = 50.000$ sayısına ulaştı.

Bu sayının büyüklüğü, Fermi'nin paradoksunun altını çiziyor. Peki ama bu hesaplama ne kadar güvenilir? Cevap, elbette, hiç de güvenilir olmadığı. Bütün bilmemiz gereken bu yedi sayı olsaydı bile, atanan değerler kaba tahminlerden başka bir şey değil. İlk üç sayı, R_* , f_p ve n_e , yarım asır önce bilinmese de, gökbilimdeki ve teleskop teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde, özellikle de güneş sistemimizin dışındaki pek çok gezegenin keşfinin ardından artık netlik kazandı.

Zeki, haberleşebilen yaşam biçimlerinin ortaya çıkma olasılıklarına ilişkin sonraki üç sayı ise 0 (imkânsız) ile 1 (kesin) arasında her şey olabilir. Drake'in seçtiği değerler aşırı iyimserdi. Dünya-benzeri bir gezegende koşullar uygun olduğunda yaşamın ortaya çıkmasını kaçınılmaz ($f_l = 1$) kabul etmişti. Eğer yaşam ortaya çıktıysa zekânın evrilmesi yarı yarıyaydı ($f_i = 0,5$). Ve eğer yaşam evrildiyse, bu zeki türün elektromanyetik dalgalar içeren teknolojiler geliştirerek, kasıtlı veya kasıt dışı uzaya yayın yapması kaçınılmazdı ($f_c = 1$).

Fakat sayısal değerler için sonraki tarafı; Drake denkleminin yaptığı şey galaksideki uzaylı uygarlıkların sayısı hakkında tahmin yürütmekten çok daha önemliydi; günümüzde de devam eden dünya çapında uzay sinyali avını başlatmıştı.

SETI

SETI, Dünya-dışı sinyalleri aktif bir şekilde aramak için, yıllar boyu dünyanın çeşitli yerlerinde gerçekleştirilmiş projelerin ortak adıdır. Uzayda elektromanyetik dalgalarla gönderilmiş potansiyel mesajları duyabilmek için uzayı dinlemek, biliminsanları bu tür sinyalleri alıp vermeyi öğrendiğinden beri yaptığımız bir şey. Bunun ilk örnekleri 19. yüzyılın sonlarına kadar geçmişe gidiyor.

Sırp kökenli elektrik mühendisi ve mucit Nikola Tesla, 1899'da Colorado Springs'teki laboratuvarında, yeni geliştirdiği oldukça hassas radyo frekans alıcısını kullanarak fırtınalarda oluşan atmosferik elektriği araştırıyordu. Kümeler halinde gelen ve ardarda bir, iki, üç ve dört kere "bip sesi"nden oluşmuşa benzeyen zayıf sinyaller saptadı. Bu sinyallerin Mars'tan geldiği kanısına vardı. 1901'de verdiği bir dergi röportajında heyecanını şöyle anımsıyor:

İnsanlık için hayal edilemez sonuçları olabilecek bir şeyi gözlemlemiş olduğum kafama dank ettiğinde hissettiğim o ilk duyguları asla unutamam ... İlk gözlemlerim beni kesinlikle korkutmuştu, çünkü sinyallerde doğüstü demeyelim ama gizemli bir şeyler vardı. Üstelik gece laboratuvarımda yalnızdım ... [Elektrik sinyallerinin varışı] periyodikti; sayısal düzenlerini, bildiğim hiçbir nedene bağlayamıyordum ... Aradan bir süre geçtikten sonra, gözlemlediğim garip olayın zeki bir kontrolden dolayı olabileceği düşüncesi birden aklımda beliriverdi.*

Her ne kadar Tesla iddialarından dolayı sert bir şekilde eleştirildiyse de, saptadığı sinyaller gizemini koruyor.

Zeki uzaylılardan gelebilecek olası radyo sinyalleri için ilk ciddi araştırma 1924'te Amerika'da yapılan kısa soluklu bir projeydi. O zamanlar hâlâ Dünya-dışı uygarlık için en olası gezegenin komşumuz Mars olduğu düşünülüyordu. Ayrıca Marslılar bizimle iletişime geçecekse, iki gezegen birbirine en yakın olduğu zamanda bunu yapacak olmalıydılar. "Karşı-

* "Talking with the Planets", Collier's Weekly, 19 Şubat 1901, sf. 4-5.

konum” denilen bu durum Dünya Mars’la Güneş arasından geçerken yaşanır. Böyle bir karşikonum 21 ila 23 Ağustos 1924 tarihleri arasında, Mars Dünya’ya son bin yılda en çok yaklaştığı sırada yaşandı (bu rekor Ağustos 2003’te kırıldı, 2287’de tekrar kırılacak). Eğer Marslılar varsa, bu fırsatı Dünya’ya sinyaller göndermek için kullanacaklarına kanaat getirilmişti. Amerika Birleşik Devletleri Donanması, “Ulusal Radyo Sessizlik Günü” düzenleyecek kadar işi ciddiye bindirdi. Mars’ın yanımızdan geçeceği 36 saat boyunca ülkedeki tüm radyolar her saat başı beş dakikalığına kapatılacaktı. Başkent Washington’daki Amerikan Donanma Gözlemevi’nde, bir radyo alıcısı uçakla 3.000 metre yüksekliğe çıkarılmış, ülke çapındaki tüm donanma istasyonlarına, sıradışı bir şey saptayabilmek için hava dalgalarını gözlemeleri konusunda talimat verilmişti. Fakat statik gürültü dışında tek duydukları saat başı sessizlik çağrısına uymayan özel istasyonlar oldu.

SETI hareketinin asıl yükselişe geçişi Frank Drake’in ilk projesiyle araştırmaları güneş sisteminin çok daha ötesine taşınmasıyla oldu. Radyo teleskoplarının dinleme menzilimizi ne kadar arttırdığı hakkında bir fikir vermesi açısından, 1960’da Drake’in odaklandığı iki yıldız yaklaşık on ışık yılı uzaktaydı, yani Mars’ın 2 milyon katı daha uzak. Bir bakıma komşunun konuşmalarını dinlemek için duvara bardak dayamıştık, bir şey duyamayınca Londra’da otururken New York’taki bir konuşmayı dinlemeye çalışmaya karar verdik. Asıl meselenin radyo teleskoplarının çanaklarını nereye doğrultacağımız olduğu açıktı.

Kaliforniya’daki SETI Enstitüsü 1984’te kuruldu. Yıllar sonra gökbilimci Jill Tarter yönetiminde “Phoenix Projesi” başlatıldı. Jill Tarter, aynı zamanda Carl Sagan’ın *Contact** romanının baş karakterine ilham veren kişidir. 1995 ila 2004 yılları arasında Phoenix Projesi, Avustralya, ABD ve Porto Riko’daki teleskopları kullanarak, Dünya’ya 200 ışık yılına kadar uzaklıktaki 800 Güneş-benzeri yıldızı dinledi. Hiçbir şey bulamadılar. Fakat proje olası uzaylı yaşamıyla ilgili değerli bir bilgi kaynağı oluşturdu. Jill Tarter, meslektaşı Margaret Turnbull’la birlikte, yaşam barındırma kapasitesindeki gezegen sistemlerini barındırabilecek yakındaki

* Bu kitaptan uyarlanan film Türkiye’de Mesaj ismiyle gösterildi. (ç.n.)

yıldızların kataloğunu derledi. Katalog şu an itibarıyla, Dünya-benzeri gezegenleri barındırmak için gerekli özelliklere sahip olan, çoğu birkaç yüz ışık yılı uzaklıktaki 17.000'den fazla yıldız içeriyor.

2001 yılında Microsoft'un kurucu ortaklarından Paul Allen, SETI'ye adanmış yeni bir radyo teleskobunun yapımının başlangıç aşamasını finanse etmeyi kabul etti. "Allen Telescope Array" (veya ATA) adı verilen bu proje, San Francisco'nun birkaç yüz kilometre kuzeydoğusunda halen yapım aşamasında. Tamamlandığında her biri 6 metre çapında 350 radyo çanağı birlikte çalışacak. 2007'de antenlerin 43 tanesi işlevsel hale gelince birinci aşama tamamlandı; fakat 2011'in başında hükümetin araştırma bütçesini kesmesiyle proje geçici olarak durdu. Çok geçmeden, projeyi kurtarmak için yardım etmek isteyen herkesten bağış toplayan bir grup kuruldu. Bağış yapmak için binlerce kişi başvurdu. Bunlardan biri de Carl Sagan'ın *Contact* romanının Hollywood sineması uyarlamasında Jill Tarter rolünü oynayan film yıldızı Jodie Foster'dı. Nedense tüm bunlar çok hoşuma gidiyor ve tatmin oluyorum.

O zaman pes etmek şöyle dursun, uzaylılar için araştırma ciddi anlamda daha yeni başlıyor. Bugüne kadar tüm elektromanyetik spektrumun sınırlı bir frekans aralığında, yalnızca birkaç bin yıldızla dikkatlice baktık. ATA'nın amacı 1.000 ışık yılı uzaklığa kadar olan 1 milyon yıldızı taramak. Ayrıca aramanın frekans aralığı da genişletiliyor. Drake'in ilk seçtiği yıldızlararası hidrojenin frekansı olan 1,42 GHz mantıklı bir seçimdi. Gökyüzü çok gürültülü bir yerdir –galaktik gürültü ve Dünya'nın manyetik alanında hareket eden yüklü parçacıkların gürültüsü de dahil olmak üzere her türlü kaynaktan gelen radyo dalgaları vardır. Fakat ATA tarafından taranacak olan, "mikrodalga aralığı" diye bilinen 1 ila 10 GHz arasındaki frekanslar, elektromanyetik spektrumun özellikle sakin bir bölgesidir; bu açıdan Dünya-dışı sinyaller aramak için idealdir.

Daha ciddi akademik araştırmalar ise zeki yaşamın izlerini değil, zeki yaşamı barındırabilecek Dünya-benzeri gezegenler arıyor. Kısaca "ötegezen" dediğimiz güneş sistemimiz dışındaki gezegenlerin avı, bilimsel araştırmanın günümüzdeki en gözde alanlarından birini oluşturuyor.

Ötegezegenler

Ötegezegen araştırma ve çalışmalarını müthiş heyecan verici bulan tek kişi olmadığım kesin. Yıldızları gözlemlemek başka şey, gezegenleri gözlemlemek başka. Saçtıkları ışığa bakarak yıldızların bileşenleri ve hareketleri hakkında pek çok şey söyleyebiliyoruz. Gezegenlerse yıldızlardan çok daha küçük olmalarının yanında yalnızca yıldızlarından yansıyan ışıkları bize ulaştığından dolayı en sönük yıldızdan bile milyon kere daha az parlaklıktalar. Bu yüzden varlıkları hakkında ancak dolaylı yoldan çıkarımda bulunabiliyoruz. En yaygınları “geçiş yöntemi” denilen yöntem. Gezegen yıldızın önünden geçerken yıldızın parlaklığında meydana gelen ufak azalma saptanıyor. Bir başka yöntem gezegenin yerçekiminin, çok daha büyük olan yıldızın hafif sallanma hareketi yapmasına neden olan küçük etkisini gözlemlemek. Bunu ölçebilmek için ya yıldızın bize yaklaşırken veya uzaklaşırken ışığındaki frekans değişimi (Doppler kayması) hesaplanıyor, ya da doğrudan kumundaki değişim ölçülüyor.

Gökbilimcilerin en çok ilgisini çekenler, Dünya-benzeri gezegenler. Yani katı halde, Dünya'ninkine yakın bir yerçekimine sahip, yıldızlarından uzaklıkları suyun sıvı halde varolmasına izin verecek kadar olan, böylelikle yüzeyinde yaşama ev sahipliği yapma potansiyeli olan gezegenler.

Şu ana kadar yaklaşık 700 tane ötegezegen bulundu. Fakat bu sayı hızla artacak gibi gözüküyor. 2009'da NASA, Kepler görevi çerçevesinde, ötegezegenler keşfetmek için gerekli aletlerle donanmış bir uzay aracı fırlattı. 2011'de Kepler araştırma grubu 1.235 olası ötegezegenin listesini yayınladı. Bunlardan 54 tanesi “yaşanabilir bölge”de yer alıyordu. Bunların da altı tanesi, yaklaşık Dünya boyutunda.

Samanyolu'nda en az 50 milyar gezegen olduğu tahmin ediliyor. Bunların en az yüzde biri (500 milyon tanesi) yaşanabilir bölgede. Bazı tahminler yaşanabilir Dünya-benzeri gezegenlerin sayısının 2 milyardan yüksek olduğunu söylüyor. Bu gezegenlerden 30.000 kadarı Dünya'ya 1.000 ışık yılı mesafe içinde.

Şimdiye kadar özellikle iki yaşanabilir-bölge ötegezegeni bilim camiasının hayal gücünü harekete geçirdi; yaşam barındırdıklarına dair kanıt bulunduğundan değil, “Goldilock gezegeni” diye adlandırılan türden gezegenler olduklarından. Goldilock gezegenleri, yaşam için doğru koşullara sahip gezegenlerdir, ne çok sıcak ne çok soğukturlar*. Bu gezegenlerden ilki, Libra takımyıldızında, Dünya’dan 20 ışık yılı uzaktaki kızıl cüce yıldız Gliese 581 ‘in yörüngesinde olan Gliese 581d. Adının sonundaki “d” harfi, o yıldızın yörüngesinde keşfedilen üçüncü gezegen olduğu anlamına geliyor (bir yıldızın çevresinde dolanan gezegenler “b”den başlayarak alfabetik sıradaki harflerle adlandırılıyorlar. Yıldızın kendisi “A” ile gösteriliyor). Gliese 581d, Dünya’nın beş katı büyüklükte olsa da, yakın zamanda yapılan iklim simülasyonları kararlı bir atmosferi ve yüzeyinde su olduğunu gösteriyor. Aynı yıldızın yörüngesinde birkaç potansiyel yaşanabilir gezegen daha bulunsa da halen onaylanmayı bekliyorlar.

İkinci aday, Vela takımyıldızındaki, Dünya’ya 36 ışık yılı uzaktaki, (adını Henry Draper’ın yıldız kataloğunda yer almasına borçlu olan) HD85512 yıldızının yörüngesindeki HD85512b. Bu gezegen bugüne kadar keşfedilen en küçük yaşanabilir-bölge ötegezegenlerinden biri ve uzaylı yaşamı barındırmak için şimdilik en güçlü aday konumunda. Dünya’nın dört katı büyüklüğünde, yüzeyinde bizimkinin bir buçuk katı yerçekimine sahip ve atmosferinin üst kısmı tahmini 25°C sıcaklıkta. Yüzey sıcaklığı henüz bilinmiyor ve daha yüksek olması olası. Yıldızının çevresinde turlama süresi, yani bir yılı yalnızca elli dört gün.

2011’in sonlarında Kepler görevi, ilk onaylanmış ötegezegen Kepler 22b’yi duyurduğunda insanları büyük bir heyecan sardı. Yörüngesinde bulunduğu yıldız, Gliese 581 ve HD85512’ye göre oldukça uzak, neredeyse 600 ışık yılı uzaklıkta olsa da bizim Güneşimize çok benziyordu. Kepler 22b gezegeninin tam ne büyüklükte olduğu henüz bilinmiyor. Şu anki tahminlere bakacak olursak çapı Dünya’nın birkaç katı daha büyük olmalı. Dünya gibi kayalık bir gezegen mi yoksa Jüpiter veya Satürn gibi bir gaz gezegeni mi olduğunu henüz bilmiyoruz. Eğer

* “Goldilock ve Üç Ayı” masalının kahramanı küçük kız seçimlerini yaparken, her şeyin kendine en uygun olan ortancasını seçer. En yüksek veya en alçak olanı yerine orta boyluyu, en sıcak veya en soğuk yerine ılık olanı vs.

kayalıksa yüzeyinde sıvı halde su olması mümkün. Bizim Güneşimize benzeyen bir yıldızın çevresinde doğru uzaklıkta bir yörüngede dolandığını da eklediğimizde, tüm bunlar onu yaşam barındırmak için potansiyel aday yapıyor.

Bu soruların hepsine yanıt bulup bulamayacağımız tartışılır; fakat ötegezegen araştırmasında kısa sürede uzun bir yol kat ettik. Keşiflerse ardi ardına gelmeye devam ediyor.

Biz ne kadar özeliz?

Bir gezegenin yaşamı desteklemeye uygun olması önemli elbette. Fakat asıl büyük bilinmeyen şu: doğru koşullar altında, başka bir yerde yaşamın evrilmesi ne kadar olası? Bunu yanıtlayabilmek için yaşamın Dünya'da nasıl başladığını anlamalıyız.

Gezeganimiz bitkilerden hayvanlara ve bakterilere kadar yaşamla dolup taşıyor. Ve başta mikroplar olmak üzere çoğu tür, aşırı soğuk veya aşırı sıcak olsun, güneş ışığı alsın veya almasın, en zor doğa koşullarında bile hayatta kalmayı başarıyor. Üstelik bu yaşam çeşitliliğinin genç Dünya soğuduktan hemen sonra başlamış olması, ortaya çıkmasının çok da zor olmadığını akla getiriyor. Peki ama bu doğru bir bakış açısı mı? Evren'in başka yerlerinde (daha doğrusunu söylemek gerekirse güneş sistemimizde), hiç olmazsa bakterilerin hayatta kalabilmesi için doğru koşulların varolduğunu biliyoruz. Bu yüzden yaşamın başka gezegenlerde de ortaya çıkmış olması mantıklı gözüküyor. Bize ev sahipliği yapan gezegenimiz acaba ne kadar özel?

Dünya'nın Güneş'ten tam doğru uzaklıkta olduğu kesin –ne çok sıcak, ne çok soğuk. Ayrıca dışında dev gezegen Jüpiter'in yörüngede dönüyor olmasının yararını görüyor. Jüpiter Dünya'nın ağabeyi gibi adeta; devasa yerçekimiyle uzayda dağılmış parçaları kendine çekerek Dünya'ya yaklaşmalarını ve bizi bombardımana tutmalarını engelliyor.

Dünya'nın atmosferi de yaşamsal öneme sahip; ama soluduğumuz havayı sağlamasından dolayı değil –sonuçta Dünya'da yaşam başladı-ğında hiç oksijen yoktu– asıl önemlisi elektromanyetik ışımayla olan özel etkileşiminden dolayı. Atmosfer görünür ışığa karşı geçirgendir, fakat kızılötesi ışınları (ısıyı), hem Güneş'ten Dünya'ya gelirken, hem de Dünya'dan uzaklaşırken kısmen emer. Bu “sera etkisi”, atmosferin ısınmasını, ve bu sayede gezegenin yüzeyindeki suyun sıvı kalmasını sağlar. Su, yaşama destek vermesi açısından buz ve buhara oranla çok daha yararlıdır.

Uydumuz Ay'ın da yaşamsal önemi var. Ay'ın yerçekimi Dünya'nın dönüşünü dengede tutarak yaşamın evrilmesi için daha düzenli bir iklim sağlar. Dünya'nın çevresinde dolanırken manto katmanında yol açtığı gelgitlerse, özellikle milyarlarca yıl önce Dünya'ya çok daha yakinken, mantoyu ısıtmasına yardım etmiş ve bir ihtimal Dünya'nın manyetik alanını üretmiş olabilir. Bu da güneş fırtınalarının atmosferimizi uzaya uçurmasına karşı gezegenimize kalkan görevi görür.

Levha tektoniği gibi olaylar bile kritik önemde olabilir. Çünkü levha tektoniği, karbonun geri-dönüştürülmesine yardım eder. Karbon ise, atmosferin sıcaklığını dengede tutmak ve canlıların besin zincirini yenilemesi için gereklidir. Gezegenin manyetik alanına da katkısı olması mümkün.

Dolayısıyla gezegenimiz hiç de sıradan bir yer olmayabilir. Peki bu durum, yaşamın burada kaçınılmaz olduğu anlamına mı gelir? Yaşam bir kez başladıktan ve evrim kontrolü ele aldıktan sonra, yaşam kendi başının çaresine baktı, fakat asıl mesele o ilk adım.

Dünya'daki ilk canlıların, geçmişleri üç buçuk milyar yıl önceye dayanan tek-hücreli prokaryotlar (hücre çekirdeğinin bulunmadığı basit organizmalar) olduğu düşünülüyor. Prokaryotlarsa “protobiont”lardan evrilmiş olabilir. Protobiontlar, aslında bir zar içinde toplanmış organik moleküller kümesinden başka bir şey değil, fakat yaşamın iki anahtar özelliği olan kendini kopyalama ve metabolize etme özelliklerine sahipler.

Protein oluşturmak için gerekli amino asit gibi organik moleküller ve DNA'nın yapısal birimleri olan nükleotidlerden ilk "kopyalayıcı"lara giden olaylar dizisini şimdilik bilmiyoruz. Yaşamın nasıl başladığına ilişkin bu soru bilimin en önemli sorularından biridir ve "abiyogenez" olarak adlandırılır. Çoğu insan biyogenezle abiyogenezi birbirine karıştırır. Biyogenez, yaşamın sadece başka yaşamlardan ortaya çıkabileceğini, abiyogenez ise inorganik maddelerden doğal süreçler yoluyla yaşamın ortaya çıkabileceğini, bir başka deyişle kimyanın biyolojiye dönüşebileceğini savunur. Abiyogenez araştırmalarının amacı, kendiliğinden oluşan ilk kuşağın sırrını, cansız maddeyi yaşama dönüştüren sihirli adımın ne olduğunu bulmaktır.

Bir iddiaya göre, Dünya'da yaşamın kendiliğinden ortaya çıkışı o kadar mucizevi bir olaydır ki, bir hurdalıkta güçlü bir rüzgar çıkıp oradaki parçaların tesadüf esefi bir araya gelerek bir yolcu uçağı oluşturmasına denktir. Organik moleküllerin en basit yaşam biçimlerini ortaya çıkarması için bile sırf şans eseri doğru kombinasyonlarda bir araya gelmesi, bu olayın kadar düşük bir olasılıktır. Peki bu adil bir karşılaştırma mı acaba?

1953'te Stanley Miller ve Harold Urey, Chicago Üniversitesi'nde bu soruyu yanıtlamak için ünlü bir deney yaptılar. Bir test tübünün içinde temel malzemelerle yaşam oluşturulabilir mi görmek istiyorlardı. Suyu, Dünya'nın ilk zamanlarında varolduğu düşünülen üç gazla karıştırdılar: amonyak, metan ve hidrojenle. Karışımı ısıtıp buharlaştırdılar. Daha sonra, atmosferdeki şimşek çakmasını taklit edebilmek için iki elektrottan buhara kıvılcım verdiler. Ardından buharı sıvı hale dönüştürdüler. Bu işlemleri bir hafta boyunca sürekli tekrarladıktan sonra, aralarında amino asitlerin de bulunduğu bazı organik bileşenlerin oluşmaya başladığını fark ettiler. Amino asitler, canlı hücrelerdeki proteinleri oluşturan yapıtaşları olduklarından yaşam için kritik öneme sahiptir. Fakat proteinleri bütün karmaşıklıklarıyla hiç görmediler. Yaşamın diğer kilit bileşenleri olan DNA, RNA gibi nükleik asitler de yoktu.

Bu kadar ümit vaadeden bir başlangıca rağmen, elli yıldan uzun bir zamandır bilimadamları hâlâ yapay yaşam üretemediler. Yaşamın kendiliğinden ortaya çıkması bu kadar düşük bir olasılık mı gerçekten? En azından bir kez gerçekleştiğini biliyoruz –varlığımız bunun yaşayan kanıtı– fakat Dünya’daki tüm yaşamın tek bir atası mı var, bunu bilmek ilginç olurdu. Çünkü eğer tek atası yoksa yaşam birden fazla noktada ortaya çıkmıştır ve sandığımız kadar özel değil demektir.

Yakın zamandaki tartışmalı bir araştırma bu fikri sorguluyor. Kaliforniya’daki garip bir çöl gölünde keşfedilen “GFAJ-1” mikrobu, yaraticılıktan yoksun isim bulma konusunda mikrobiyologların da gökbilimcilerden geri kalmadığını göstermesinin yanında, çok ilginç bir özelliğiyle dikkat çekiyor.

Yaklaşık bir milyon yıl önce oluşmuş Mono gölü, alışılmışın dışında bir kimyaya sahip. Okyanustan iki ila üç kat daha tuzlu; klorid, karbonat ve sülfat içeriyor, ve 10’luk pH değeriyle yüksek bazik özellik gösteriyor. İçinde balık bulunmasa da, göl suyunun kimyasal karışımı, bazı tek hücreli alg türleri ve her yılın birkaç ayını orada geçiren milyonlarca göçmen kuşa temel besin kaynağı olan trilyonlarca küçük tuzlu karides için ideal yaşam ortamı oluşturuyor. Ah, unutmadan, bu arada çok yüksek miktarda arsenik de içeriyor.

Felise Wolfe-Simon önderliğindeki bir grup NASA biyoloğu, ufak GFAJ-1 bakterisiyle ilgilenmeye başladı, çünkü sanki daha önce hiç görülmemiş bir şey yapıyordu: diğer her türlü yaşam için zehirli olan arsenikle besleniyordu.

Dünya’daki yaşamın pek çok farklı elementin karışımına bağlı olduğunu biliyoruz, fakat DNA’nın kendisi yalnızca beş unsurdan oluşur: karbon, hidrojen, nitrojen, oksijen ve fosfor. Merak ettiğimiz konu, acaba bunlara kimyasal açıdan benzeyen başka elementler bunların yerini alabilir mi. Arsenik, periyodik tabloda fosforun tam altında yer alıyor ve benzer atom yapısına sahip. NASA araştırmacıları, GFAJ-1’in arsenik-toleranslı olduğunu ve Mono gölünde çok az fosfor olduğunu biliyorlardı. Arsenik zengini bir diyet uyguladıkla-

rında hayatta kalmayı başardı –hatta fosforu tamamen kaldırdıklarında bile. İşin asıl can alıcı kısmına gelirsek, hücreler üreyecekleri zaman yeni DNA yapabilmek için ham maddelere ihtiyaç duyar. Peki bu organizmalar ortamda beş kilit unsurdan biri olmadan bu işi nasıl başarıyorlardı?

Araştırmacıların 2010'un sonunda yayınladıkları çalışmaları bilim camiasında fırtına kopardı. GFAJ-1'in, DNA'sında fosfor yerine arsenik kullandığını iddia ediyorlardı. Eğer bunun gerçek olduğu ortaya çıkarsa, milyon-dolarlık soruyu sorabiliriz: Bu mikroplar arseniği bu şekilde kullanabilmek için sonradan mı evrildiler, yoksa ayrı bir abi-yogenetik olayla mı ortaya çıktılar? Eğer yanıt ikincisiyse, o zaman yaşamın en az iki farklı noktada başladığını söyleyebiliriz –bu da o kadar nadir olmadığı anlamına gelir.

Dünya'da yaşamın nasıl başladığını hâlâ bilmiyoruz. Bu soruyu günün birinde yanıtlasak bile, *zeki yaşamın* ortaya çıkışıyla ilgili başka sorular bizi bekliyor. Belki de uzayın birçok yerinde yaşam vardır fakat zeki yaşam tek bir yerdedir.

Kargaların davranışlarını inceleyen son araştırmalar, bu kuşların zekâlarının insanlardan tamamen ayrı bir evrimsel yol takip ettiği izlenimini uyandırıyor. Eğer öyleyse, zekâ da Darwinci evrimin kaçınılmaz sonuçlarından biri demektir. Bu sorular ve örneğin çok-hücreli organizmaların milyarlarca yıl önce tek-hücreli organizmalardan evrilmesi gibi diğer sorular yanıtlarını buldukça, abi-yogeneze den insanoğluna giden evrimsel yolculuğun önemli adımlarının Evren'in başka yerlerinde de olduğunu ummak gerçekçi mi anlayacağız.

Antropik ilke

Bölümü bitirmeden önce Fermi Paradoksu'ndan çok daha temel bir soruya değinmek istiyorum. Son yıllara kadar yalnızca felsefe çevrelerinde sorulan bu soru, artık ana akım fiziğe de girdi. "Antropik ilke"

denilen bu düşünce, Evrenimizin, veya en azından bizim bulunduğumuz köşesinin, biz insanların varolması için bu kadar ince bir ayara sahip olmasının korkunç düşük olasılığına odaklanıyor. Bu ilke, 1973'te Polonya'da, Kopernik'in doğumunun 500'üncü yıldönümünü kutlamak için düzenlenen bilimsel konferansta Avusturyalı gökbilimci Brandon Carter'ın ağzından modern ifadesine kavuşmuştur. Carter şöyle ifade etmişti: "Gözlemlemeyi umabileceğimiz şeyler, bizim gözlemci olarak varolabilmemiz için gereken koşullarla sınırlandırılmış olmalıdır. İçinde bulunduğumuz durumun mutlaka merkezi olması gerekmesi de, bir noktaya kadar ayrıcalıklı olması kaçınılmazdır." Böyle bir fikri ortaya atmak için özellikle etkileyici bir ortamdı, çünkü insanoğlunun Evren'de ayrıcalıklı bir yeri *olmadığını* dile getiren ilk bilimsansı Kopernik'ti. Şimdiyse Carter, Evren'in bizim için elbette böylesi özel olduğunu, aksi taktirde zaten bizim en başından varolmayacağımızı ifade ediyordu. Kendi alanım olan nükleer fizikten bir örnek vermek istiyorum. Doğadaki dört temel kuvvetten biri güçlü nükleer kuvvettir. Bu kuvvet, atomun çekirdeğini bir arada tutan kuvvettir. İki hidrojen çekirdeği (tek başlarına birer proton) bir araya gelmezler çünkü güçlü nükleer kuvvet, bunu yapabilmek için yeterince güçlü değildir. Fakat bir proton ve bir nötronu bir arada tutarak "döteryum" denilen şeyi ("ağır hidrojen" atomunun çekirdeğini) oluşturmaya gücü yeter. Döteryum, hidrojeni helyuma dönüştüren nükleer füzyon işleminde kritik rol oynar. Füzyon ise yıldızların yanmasını sağlayan süreçtir; biz de yaşam kaynağımız olan Güneş'in ışık ve sıcaklığını füzyona borçluyuz. Peki ya güçlü nükleer kuvvet birazcık daha güçlü olsaydı? O zaman gücü iki protonu bir arada tutmaya da yeterdi, ki o zaman hidrojen çok daha kolayca helyuma dönüşürdü. Hatta Büyük Patlama'dan hemen sonra Evren'deki tüm hidrojen tüketilerek helyuma dönüşürdü. Hidrojen olmasaydı, oksijenle birleşerek oluşturdukları su da olmazdı, ve eğer su olmasaydı (bizim anladığımız anlamda) hayat da olmazdı.

Antropik ilke, varolmamızın Evren'in bazı özelliklerini belirlediğini söylüyor, çünkü olduklarından farklı olsalardı, onları sogulamak

için burada olmazdık. Gerçi bu ne kadar olağanüstü bir durum? Belki de Evren farklı olsaydı, biz de –artık o durumda “biz”in anlamı her neyse– o koşulların izin verdiği şekilde evrilir ve yine aynı soruyu sorduk: Evren nasıl bu kadar ince bir ayara sahip?

Bunu şöyle de düşünebiliriz; kendinize nasıl dünyaya geldim diye sorun. Sonuçta anne-babanızın tanışıp sizi oluşturma şansı neydi? Dahası, onların anne-babalarının tanışıp onları oluşturma şansı neydi, vs? Siz, bir ucu yaşamın başlangıcına uzanan çok uzun ve inanılmaz düşük olasılıklı olaylar zincirinin öbür ucusunuz. Aradaki halkalardan biri farklı olsaydı siz burada olmazdınız ve bunları düşünmezsiniz.

Brandon Carter’ın argümanına “Zayıf Antropik İlke” deniyor. Bir de “Güçlü Antropik İlke” var. Buna göre Evren’in bu şekilde olması, herhangi bir yerde zeki yaşam evrilip günü geldiğinde kendi varlığını sorgulayabilsin diyedir. İlkiyle arasında ince bir fark olsa da çok daha su götürür bir ifade. Ben şahsen saçmalık olduğunu düşünüyorum. Biz meydana gelelim diye Evren’in bu şekilde olmaya her nasılsa mecbur edildiğini iddia ederek Evren’e bir amaç atfediyor. Hatta bunun bir de, Schrödinger’in Kedisi Paradoksu’nun “bilinçli gözlemci” çözümüyle paralellikler gösteren, oldukça sofistike bir kuantum mekaniksel versiyonu var: biz Evren’i gözlemleyerek varolmasını sağladık –ta zamanın en başından. Olası tüm evrenler içinde, bizim varolmamıza izin veren evreni “seçtik”.

Eğer çoklu-evren kuramının cazibesine kendimizi teslim edersek, bu antropik bilmecenin çok daha basit bir çıkışı var. Sonuçta olası evrenlerin hepsi varsa, o zaman kendimizi tam da bize uygun olan evrende bulmamızda şaşılacak bir şey yok.

*

Bu bölümü başladığımız noktaya, uzayın ürpertici sessizliği konusunda Enrico Fermi’nin sorduğu ünlü soruya dönerek bitirmek istiyorum. Sonuçta, bizim için ince ayarlanmış bir evren, bizden çok farklı

olmayan başka yaşam biçimleri için de ince ayarlanmış olmalı. Dünya ne kadar özel ve yaşamın ortaya çıkma olasılığı ne kadar uzak olursa olsun, milyarlarca galaksiyi barındıran Evren o kadar engin ki, yaşamın başka yerlerde de varolması neredeyse kaçınılmaz. Ama biz Samanyolumuzun bu küçük köşesinde yalnız olabiliriz.

Boşuna uğraşmış olma ihtimaline rağmen neden araştırmayı sürdürüyoruz? Çünkü varolmanın en temel sorularına yanıtlar arıyoruz. Yaşam nedir? Eşsiz varlıklar mıyız? İnsan olmak ne demek? Evren'deki yerimiz ne? Yanıtları asla bulamayacak olsak bile aramaya değer.

ON BİR

Kalan Sorular

Parçacıklar ışıktan hızlı hareket edebilir mi? Özgür irademiz var mı? Ve diğer muammalar

EN GÜZEL BİLİM paradokslarından dokuz tanesiyle yüzleşip üstesinden geldiğimiz konusunda umarım bana katılırsınız. Cinleri kovduk, kedilerin ve dedelerin imdadına koştuk, ayrılan ikiz kardeşlerin arasını düzelttik, gecenin karanlığını huzura kavuşturduk ve Yunan Zeno'ya haddini bildirdik. Peki bu ele aldığımız sorular özellikle bilim tarafından temiz bir şekilde çözülmüş olanlar mıydı diye kendi kendinize sorabilirsiniz. Yanıtını bilmediğimiz için görmezden geldiğimiz sorular oldu mu? Elbette oldu. Evren gizemlerle dolu –onu bu kadar büyüleyici yapan da bu zaten.

Diğer muammaları ve gizemleri üç sınıfa ayırabiliriz: bilimin anlama ve çözmeye yakın oldukları; bilimin günün birinde çözmeyi umdukları; ve son olarak –ya bilimin ilgi alanı dışında olduklarından, ya da kesin ve doyurucu bir yanıtı ulaşmak için nasıl bir araştırma yapmamız gerektiğine aklımız ermediğinden– bilimin belki asla yanıtlamayacağı felsefi ve fizikötesi sorular.

Bu öne çıkan soruları kitabımızın sonunda ayrıntılarıyla açıklamak

yerine, bazı örnekleri sınıflandırmakla yetineceğim. Çözölmeye ne kadar yakın olduklarına inandığıma bağılı bir sıralama *yapmadığımın* altını çizmek isterim. Ayrıca bunların kişisel ve hayli öznel listeler olduğunu, geniş kapsamlı veya paradoksal sorularla sınırlı olmadıklarını da eklemeliyim. Bunları yazmaktaki amacım Evren ve bizim yerimiz hakkında daha ne kadar çok şey bilmemiz gerektiğini vurgulamak.

Birinci kategoriye giren on soruyla başlıyorum. Bilimin bu soruları yanıtladığını görecekim diye tahmin ediyorum:

- 1 Neden Evren'de maddeden çok anti-madde var?
- 2 Karanlık madde neyden yapılmıştır?
- 3 Karanlık enerji nedir?
- 4 Tamamen işlevsel görünmezlik pelerinleri mümkün olacak mı?
- 5 Yaşamın ortaya çıkışını hangi noktaya kadar kimyasal maddelerin kendiliğinden bir araya gelmesiyle açıklayabiliriz?
- 6 Uzun zincir halindeki organik malzeme nasıl kendine doğru bükölerek protein oluşturur?
- 7 İnsan ömrünün mutlak bir sınırı var mı?
- 8 Anılar beyinde nasıl saklanır ve geri çağırılır?
- 9 Günün birinde depremleri öngörebilecek miyiz?
- 10 Konvansiyonel programlamanın sınırları nedir?

Sıradaki on soruyu bilimin günün birinde yanıtlayacağına şüphem yok, fakat görecekim konusunda şüpheliyim:

- 1 Parçacıklar gerçekten titreşen sicimler mi, yoksa sicim kuramı zekice matematikten mi ibaret?
- 2 Büyük Patlama'dan önce bir şey var mıydı?
- 3 Gizli boyutlar var mı?
- 4 Beyinde bilinç nerede ve nasıl oluşuyor?
- 5 Makineler bilince kavuşabilir mi?

- 6 Geçmiş zaman yolculuğu mümkün mü?
- 7 Evren'in şekli ne?
- 8 Karadelğin diğer ucunda ne var?
- 9 Kuantum garipliklerinin temelini oluşturan daha derin ilkeler var mı?
- 10 İnsanları kuantum ışınlama günün birinde mümkün olacak mı?

Son olarak, pek çok insanın bilimin sınırları içinde olduğunu savunduğu, fakat korkarım bilimin asla yanıtlayamayacağı sorular:

- 1 Özgür irademiz var mı?
- 2 Paralel evrenler var mı?
- 3 Evren'in oluşmasına ne sebep oldu?
- 4 Evren'i tanımlamak için matematiği biz mi bulguladık, yoksa fizik denklemleri baştan beri keşfedilmeyi bekleyerek duruyorlar mıydı?

Işıktan daha hızlı?

Bu son bölümü bitirmeden önce, güncel bir sonuca inandığımız takdirde çoğu kişinin potansiyel paradoks olarak nitelendireceği bir örnek vermek istiyorum. Bu kitabın yazımı sırasında, 2011 yılında iki tane henüz çözülmemiş bilmeceyi gazeteler bütün dünyada manşetlerine taşıdılar. Her ikisi de Cenevre'deki CERN parçacık hızlandırıcıda yapılan deneyde test ediliyor. İlki, parçacıkların ışıktan hızlı gidebilip gidemeyeceği; ikincisiyse gözlemlenmekten kaçan Higgs bozonunun, Evren'e kütlesini veren bu temel parçacığın gerçekten varolup olmadığı. Her iki durumda da bugüne kadar ulaşılan sonuçlar kesin karar vermek için yetersiz; daha fazla deney yapılması gerekiyor. Bu kitabın ömrünü uzatmak adına bir risk alacağım ve bu iki meselenin nasıl çözümleneceğine dair tahminde bulunacağım. Higgs bozonunun varlığı 2012 yazında onaylanacak; ve "nötrino" denilen atomaltı parçacıkların

ışık hızının çok azcık *altında* yolculuk ettikleri anlaşılacak. Yalnız birinde veya her ikisinde de yanılırsam suçu bana atmak yok!

Yapılan iki açıklamadan –bazı nötrinoların ışıktan daha hızlı gidebildiği ve Higgs bozonunun keşfedildiği iddiasından– birincisi, bilimsel paradoks tanımımıza çok daha iyi oturuyor.

Hikâyenin şu ana kadarki kısmına göre, biri İsviçre'deki CERN ve diğeri orta İtalya'daki Gran Sasso olmak üzere iki laboratuvarın ortaklaşa çalışmasıyla, nötrino ışınlarının iki laboratuvar arasındaki 730 kilometrelik uzaklığı yerin altından, kayaların içinden hangi hızda kat ettiği ölçüldü. Nötrinolar kayaların içinden sanki boşluktan geçer gibi geçebiliyor çünkü neredeyse hiçbir şeyle etkileşime girmiyorlar. Hatta şu anda siz farketmeseniz de, Güneş'ten gelen milyarlarca nötrino vücudunuzdan geçip gidiyor.

OPERA* işbirliğinin merkezinde, saptaması güç olan nötrinoların küçük bir kısmını yakalayabilen Gran Sasso'daki büyük, gelişmiş ölçüm aleti yer alıyor. 2011 Eylül'ünde, bu laboratuvardaki biliminsanları, CERN'de oluşturulan nötrinoların ışığa göre saniyenin milyarda altmış kadar daha erken vardığını ölçtüklerini duyurdular. Çok da daha hızlı değil gerçi, ama yine de inanılmaz bir sonuç.

Çünkü fizik yasalarını anlayışımıza göre, hiçbir şey ışıktan daha hızlı gidemez. Einstein'ın görelilik kuramı böyle söylüyor. Kendi tecrübelerime dayanarak şunu söyleyebilirim ki, Einstein'ın görelilik kuramıyla ilgili insanların canını bu kozmik hız sınırından daha fazla hiçbir şey sıkmamıştır. Einstein'ın 1905'teki çalışmasından beri yapılan binlerce deney, sonuçlarını hep onayladı –hatta modern fiziğin gösterişli mabedinin büyük kısmı bu gerçeğin üstüne kurulmuştur. Buradaki asıl nokta ışığın özel olmasından ziyade bu hız sınırının uzay ve zamanın dokusuna işlenmiş olmasıdır.

Peki ama ya Einstein'ın yanlışlığı ortaya çıkarsa? OPERA'nın vardığı sonuçları yorumlamanın başka bir yolu var mı? Bilimsel bir kuramın bütün esprisi yıkılmasının mümkün olmasıdır –yeni deneysel sonuç-

* Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus

larla yanlışlığı gösterilebilir veya daha iyi ve daha kesin öngörülerde bulunan, daha fazlasını açıklayan bir kuramla değiştirilebilir. Fakat olağandışı iddialar olağandışı kanıt gerektirir. Zaten OPERA'da çalışan biliminsanları da vardıkları bu sonucun nasıl mümkün olabileceğine dair hiçbir fikirleri olmadığını hemen itiraf ettiler.

Einstein'ın yanlışlığına dair medyanın yaygarası dinince hikâyenin bir sonraki dönüm noktasına gelindi. Gran Sasso'daki ICARUS adındaki rakip bir deneyde de CERN'in nötrinolarından bir kısmı yakalandı. Fakat onlar yolculuk sürelerini değil de enerjilerini ölçtüler. OPERA'nın yaptığı ilk duyurunun ardından, kuramcılar eğer nötrinolar gerçekten ışık hızını aşabiliyorlarsa, yolculukları boyunca radyasyon yaymaları ve sürekli enerji kaybetmeleri gerektiğini belirttiler. Bunun aksi bir durum bir uçağın hız sınırını aşıp sonik patlama yapmaması gibi bir şey olurdu. Böyle bir şey imkânsızdı.

ICARUS araştırmacıları bu radyasyona dair hiçbir kanıt bulamadıklarını duyurdular, çünkü nötrinolar hedeflerine vardıklarında, enerjileri çıktıkları anki enerjileriyle aynıydı. Dolayısıyla parçacıklar ışıktan daha hızlı gidiyor olamazdı.

Burada asıl önemli nokta şu; OPERA'nın sonucu Einstein'ın kuramını nasıl çürütmezse ICARUS'un sonucu da Einstein'ın kuramını ispatlamaz. İkisi de deneysel ölçümlerdir, keşifler değil. Doğru bir sonuca varmak için bir başka laboratuvarın bağımsız yeni bir deney yapması gerekir. İnanıyorum ki bu yapıldığında dünya hız rekoru yine ışıktaki kalacak.

Fakat eğer nötrinoların gerçekten ışıktan hızlı hareket ettiği anlaşılırsa çok sevinirim. Böyle bir keşif onaylanırsa biz fizikçiler için harika olur. Karatahtalara denklemler çiziktirilir, kafalar kaşınır ve Nötrino Paradoksu'nu çözecek yeni Einstein için Nobel ödülleri hazır bekletilir.

Dizin

- abiyogenez 191-93
- Ahırdaki Sımk Paradoksu xv, 84-7, 97-101, 127-9
- ve Özel Görelilik Kuramı 84-7
- Akyıldız bkz. Sirius
- algoritmik rassallık 77
- Allen Telescope Array (ATA) 186
- Allen, Paul 186
- Alfa Centauri 117
- American Statistician, The* 9-10, 13, 19
- Anders, William 114, 115
- Anderson, Andrew 176
- Andromeda 41-2, 52-3
- Anti-Zeno Etkisi 37
- antropik ilke 193-5
- Apollo görevi saatleri 110, 114
- Aristo 23, 24, 25, 27, 30, 32
- Fizik 23
- arsenik, GFAJ-1 mikrobi 192-3
- astronomi bkz. gökbilim
- Aşıl ve Kaplumbağa 22-7
- atom
- oluşumu 54
- radioaktif bozunma 35-6, 155-6, 159-62
- atomaltı parçacıkları
- girişimölçer ve 167-9
- oluşumu 54
- Ayak Yıldızı bkz. Rigel
- Back to the Future* bkz. *Geleceğe Dönüş*
- Batlamyus (gökbilimci) 45
- belirme kuramı 152
- Belirsizlik İlkesi (Heisenberg) 82, 164-5, 166 *şkl.*
- ve atomların bozunması 35, 155-8, 159-63
- Benford, Gregory, *Timescape* 126
- Bertrand, Joseph 3
- Bertrand'ın Kutusu Paradoksu 3-5, 8
- Betelgeuse 40-1
- bilardo masası
- topların dağılmasının öngörülmesi 148-9
- zaman makinesi 133-34
- bilgi
- gözlemcinin müdahalesi 157
- ve Termodinamiğin İkinci Yasası 60-2, 74-9
- bilinç ve solipsizm 173
- bilmeceler, paradoks olmayan xi-xii, 1-21
- biyogenez 191
- blok evrenler 130-132
- Einstein'ın 147
- üst üste çakışma 136-40
- zaman yolculuğu 132-3
- Bohm, David 157
- Bohr, Niels 36, 142, 160, 164, 170
- kuantum postülatları üzerine 170
- Schrödinger'in Kedisi üzerine 162, 171
- Bondi, Hermann 44
- Borman, Frank 114
- Bradbury, Ray, *A Sound of Thunder* 150
- Brahe, Tycho 48
- Buller, Reginald, şiir 126
- Büyük Çöküş 53
- Büyük Hadron Çarpıştırıcısı xv, 110

- Büyük Patlama kuramı 52-3
 gizemleri xv
 ispatı 53-55, 58
- Büyükbaba Paradoksu bkz. Dede Paradoksu
- Carlsberg 164
- Carpenter, Roger 176
- Carter, Brandon, antropik ilke 194-5
- CERN
 Büyük Hadron Çarpıştırıcısı xv, 110
 OPERA projesi 200-1
- Chéseaux, Jean-Philippe de 48
- Chicago Pile-1 177
- çoklu-evren 135-6
 solucandelikleri 138-40
 ve Dede Paradoksu 137, 139
 ve nedensellik 138-9
 ve zaman yolculuğu 135-40
- çözülmemiş sorular 198-9
- dalga
 hareketi 87-101
 kuantum süperpozisyonu 167-9
 su, süperpozisyonu 167
- dalga mekaniği 165, 167-9, 170
- Dede Paradoksu xv, 136-56
 ve çoklu-evren 137, 139
- değişkenler, ve öngörülebilirlik 146-50
- Demokritos 46
- dengesiz teker devridaim makinesi 80 *şkl.*
- determinizm
 nedensel 146
 ve kaos kuramı 150-154
 ve öngörülebilirlik 142-58
- devridaim makineleri 79-81
- Digges, Leonard ve Thomas, *Prognostication Everlasting* 46
- Digges, Thomas 46-48
- Dikotomi Paradoksu 24, 27-30
- Dirac, Paul 165
- Diyojen, Kinik 28
- DNA, GFAJ-1 bakterisi 192
- doğru-çıkarımlı paradokslar 1-2, 5-8
- doğrusal olmayan dinamik 150-2
- doğrusal parçacık hızlandırıcı 73
- Doğum Günü Paradoksu 2, 5-8
- Doppler etkisi 88, 120, 187
- dört-boyutlu uzay-zaman 130-2
- döteryum 194
- Drake formülü 182-3
- Drake, Frank 182-3, 185, 186
- du Sautoy, Marcus 2
- düşünce deneyleri 133-4, 159-60
- düzen, ve kaos kuramı 150-5
- düzen/düzensizlik 65-9
- Eddington, Arthur 68
- Eflatun 23, 28
- Einstein, Albert 90-1, 159
 blokevren 147, 156
 görellilik kuramları xiv, 29-30, 49-53, 163;
 ve uzunluk 84-7, 91-101; ve OPERA
 projesi 200-1; ve zaman yolculuğu 127;
 Genel Görellilik Kuramı 49-53, 56,
 70 (ayrıca bkz.. Eşdeğerlik İlkesi;
 İkizler Paradoksu); Özel Görellilik Kuramı
 56 (ayrıca bkz. Ahırdaki Sırık Paradoksu;
 İkizler Paradoksu)
 kuantum rassallığı üzerine 157
 Termodinamiğin İkinci Yasası üzerine 70
- Eleatik hareket 24
- elektron
 dalga olarak 165, 167-169
 hız/konum 163-5
 ve girişimölçer 167-8
- elektron mikroskobu 73
- elementlerin bollukları 54
- enerji ve ısı 59-83
- entropi 65-83
- Eşdeğerlik İlkesi 118
- eşevresizlik
 kuantum mekaniği 175-6
- Evren
 görünür 44-58
 modelleri 44-55
 Newton'a göre 147, 149, 154, 156, 160
 evrim, dünyadaki hayatın evrimi 189-93

- Fermi Paradoksu 177-9, 181, 195
 Fermi, Enrico 177
 filozoflar, ve zaman 106-8
 fiziksel süreçlerin tersinmezliği 64-5
 Foster, Jodie 186
 Friedmann, Aleksandr, kütleçekim kuramı 51-2
 g-kuvveti 117-8
 galaksiler 41-2, 43-53
 galaksilerarası yolculuk 94-7
 Gardner, Martin 8
 geçiş yöntemi, ötegezegen araması 187
 Geiger sayacıları, ve eşevresizlik 175-6
Geleceğe Dönüş 123
 geometrik seriler 25-6
 gezegenler
 ötegezegen 183, 186, 187-9
 parlak 40
 GFAJ-1 bakterisi 192-3
 girişimölçer 89, 168-9, 170
 Gliese 581d 188
 Goldilock gezegenleri 188
 Gödel, Kurt 127
 gökbilim 39-58
 görelilik *bkz* Einstein maddesinin altı
 görünür evren 44-58
 gözlemci
 bilinç ve solipsizm 173
 ölçüm sorunu 169-71, 173-5
 Schrödinger'in Kedisi 162, 195
 ve fotonların sekmesi 171
 ve görelî hareket 85-7, 89, 92-3, 94-113
 ve görelî zaman 103-4, 108-10
 ve kuantum varlıkları 169
 ve uzay-zaman 130-2
 ve zaman yolculuğu 125
 GPS uyduları, ve zaman genişlemesi etkisi 114
 Gran Sasso
 ICARUS projesi 201
 OPERA projesi 200-1
Guinness Rekorlar Kitabı 9
 güçlü antropik ilke 195
 güçlü nükleer kuvvet 194
 güneş sisteminin değişmezliği 147
 Hafele-Keating deneyi 113
 Hafele, Joseph 113
 Halley, Edmond 44, 48
 hareket
 Antik Yunanlarda 27-33
 görelî 84-101, 108; ve simetri 104
 ışık 87-101
 HD85512b 188
 Heisenberg, Werner 36, 160, 164, 171
 Belirsizlik İlkesi 82, 164, 166 şkl.
 Schrödinger'in Kedisi üzerine 162, 171
 Henry Draper yıldız kataloğu 188
 hız
 kavram olarak 28-9
 ve görece uzunluk 84-101
 hidrojen çekirdekleri 194
 Higgs bosonu 199
 Homeros, *Ilyada* 24
 Hoyle, Fred 52
 Hubble, Edwin 52
 ısı ve enerji 59-82
 ışık
 girişimölçer ve 167-8
 hareket 87-101
 kozmetik mikrodalga ısıması 55
 yıldızlardan gelen 39-58
 ışık hızı 56, 89-93, 94-7
 daha hızlı parçacıklar 199
 daha hızlı yolculuk/zaman yolculuğu 121, 127-8
 yakın hızda yolculuk 102-4
 ışık kirliliği 39
 ışık-taşıyan esir 88-9, 91
 ışık yılı 40
 ışıktan hızlı parçacıklar 199
 İkizler Paradoksu xv, 102-21
 ve Genel Görelilik Kuramı 105-6, 111-5, 115-120
 ve Özel Görelilik Kuramı 102, 108-11, 113-20

- İkizlerevi bkz. Betelgeuse
 insan beyni, ve özgür irade 153-4, 156-7, 158
 iskambil kağıdı örneği,
 Termodinamiğin İkinci Yasası 65-6, 75-9
 İskoç xiii
 İsveç, Kralın ödülü 147
 Itano, Wayne 37
 ivme, kütleçekimine denkliği 116-7, 117-8
 Jackson, Andy 21
 Jüpiter, kalkan etkisi i 189
 kaos kuramı 150-2
 kara delikler 139
 karanlık madde xv
 kargaların zekası 193
 karmaşıklık kuramı 152
 Kayıp Doların Gizemi 2-3
 Keating, Richard 113
 kelebek etkisi 148-50, 154
 Kelvin, William Thomson, Baron 58
 Kepler 22b 188
 Kepler görevi 187-8
 Kepler, Johannes 44, 48, 49
 Kinikler (felsefi akım) 28
 Kopernik, Nicholas
 antropik ilke 194
 De revolutionibus 44
 koşullu olasılık bilmeceleri 8-21
 kozmik mikrodalga ışıınımı 55
 kuantum çoklu-evreni 136-41
 kuantum mekaniği
 çoklu-dünya yorumu 135-41
 eşevresizlik 175-6
 gariplikler 157, 162-3, 171-6
 Heisenberg Belirsizlik İlkesi 82
 indeterminizm 155-8, 159-63
 ölçüm sorunu 169-71, 173-5
 postülatlar 170-1
 süperpozisyon 164-9, 171-6
 ve rassallık 152, 155-8, 159-63
 ve Zeno Paradoksu 34-8
 Kuantum Zeno Etkisi 36-8
 kurmalı evren 147, 149, 154, 156, 160
 kütle/enerji korunumu,
 çoklu-evrende 137-8
 ve zaman yolculuğu 125, 135
 kütleçekim 49-53
 ve Eşdeğerlik İlkesi 118
 ve zaman 111-5, 116-9
 Laplace, Pierre-Simon 142, 143-4
 Laplace'in Cini 142-46, 152-8
 Lawrence, Ernest 73
Let's Make a Deal (TV programı) 9
 Limousin 39
 Lorenz, Edward 149-50
 Los Alamos Ulusal Laboratuvarı 177
 Lovell, James 114, 115
 Macellan Bulutları 41, 42
 Manhattan Projesi 177
 mantık
 Antik Yunanda 23, 25-33
 ve paradokslar xiii
 mantık paradoksları xii
 manyetik devridaim makinesi 80 şkl.
 Mars'tan gelen sinyaller 184-5
 Maxwell, James Clerk 69
 Maxwell'in Cini xiv, 59-83, 142
 Melissus, Elea'lı 23
 Michelson, Albert 88, 89-91
 Miller, Stanley, test tübü yaşam deneyi 191
Mind Games (TV programı) 2
 Misra, Baidyanait, ve George Sudarshan,
 'Kuantum Kuramında Zeno Paradoksu' 34-8
 Mono Gölü 192
 Monty Hall Paradoksu bkz. Yarışma Programı
 Paradoksu
 Morley, Edward 88, 89-91
 müonlar 93-4, 95
 NASA 50
 Apollo 8 görevi 114-5
 Kepler görevi 187-8
 ve GFAJ-1 bakterisi 192
 nedensellik
 çığırması 128-9
 ve çoklu-evren 138-40

New York Times 10

Newton, Isaac 33

Principia mathematica 105

yasaları 50, 57–8, 70, 146, 155

Newtoncu determinizm

kurmalı evren 147, 149, 154, 156, 160

Nobel Ödülleri 49, 73, 164, 177

nötrino 165

ve ışık hızı 199–201

ve nötronlar 64–5

Ok Paradoksu 24, 32–3

olasılık

bilmeceler 3–21

ve kuantum mekaniği 34–5

yarı-ömür 35, 156, 160

Olbers Paradoksu 39–58

Olbers, Heinrich Wilhelm 44, 49

OPERA projesi 200–1

Ozma projesi 182

ölçüm sorunu 169–71, 173–5

ön bilgi, olasılıkta 18–21

Öncü *bkz.* Procyon

öngörülebilirlik

değişkenler ve 146–50, 150–5

ve determinizm 142–58

ötegezegenler 183, 185, 186, 187–9

özgür irade 152–5, 158

Parade (dergi) 9, 13, 19

paradoksumsular xi–xiv

paralel evren *bkz.* çoklu-evren

Parmenides, Elea'lı 23

Pauli, Wolfgang 36, 165

Phoenix Projesi 185

Platon *bkz.* Eflatun

Poe, Edgar Allan, *Eureka* 57–8

Poincaré, Henri, güneş sisteminin değişkenliği üzerine 147

problemler, çözülmemiş 197–9

Procyon (Öncü) 40

prokaryotlar 190

Proksima Erboğa *bkz.* Proxima Centauri

Proxima Centauri 40

Ptolemy *bkz.* Batlamyus

Punch (dergi) 126

radio sinyalleri, ve uzaylı yaşam araması 181–6

rassallık 75–9, 146

ve kuantum mekaniği 152, 155–8, 159–63

Rigel (Ayak) Yıldızı 40–1

Ruska, Ernst 73

Rutherford, Ernest 164

Saat Paradoksu *bkz.* İkizler Paradoksu

saatler

yüksek hassasiyetli 37

zaman genleşme etkisi 110–5

Sagan, Carl, *Contact* 185, 186

Samanyolu Galaksisi 39–42, 49, 52–3, 178

Savant, Marilyn vos 9–10, 13, 19–20

Schrödinger, Erwin 35, 135, 159

dalg mekaniği 165–7

'Kuantum Mekaniğindeki Son Durum'

159–63

ve kuantum postülatları 170

Schrödinger'in Kedisi xiv, xv, 35, 135, 159–76, 195

Scientific American, 'Mathematical Games' 8

Selvin, Steve 9, 10–13, 19

SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) 182, 184–6

siklotron 73

sinyal, ışıktan hızlı 127–9

Sirius (Akyıldız) 40, 41

Sokrates 23, 28

solipsizm 173

solucandelikleri 138–40

sonsuzluk, antik Yunanlarda 25

Stadyum Paradoksu 30–1

Sudarshan, George ve Baidyanath Misra,

'Kuantum Kuramında Zeno Paradoksu' 34–8

süper-bilgisayar tahmin örnekleri 143, 145

süpernova, 1572 yılındaki 46–8

süperpozition, kuantum 167–9, 172–6

Szilárd motoru 73

Szilárd, Leo 73–4

takyonlar 126–7

- Tarter, Jill 185, 186
 tavşan ve kaplumbağa fablı 24
 tek-yönlü vanalar 69-73
 tekrarlanabilirlik 149
Terminatör 123
 Termodinamik
 Birinci Yasa 64, 79; ve zaman yolculuğu 120-1, 129, 132
 İkinci Yasa xiv, 59-84; ve zaman okları 124
 Sıfırıncı Yasa 83
 Üçüncü Yasa 83
 termonükleer füzyon
 ve kuantum kuralları 161-2
 yıldızlardaki 54
 tersinirlik, fiziksel süreçler 64-5
 Tesla, Nikola, yabancı radyo sinyalleri 184
 test tübü yaşam deneyi 191
 Turnbull, Margaret 185
 Ulusal Radyo Gökbilim Gözlemevi (ABD) 182
 Ulusal Radyo Sessizlik Günü 185
 Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (ABD) 37
 Urey, Harold, test tübü yaşam deneyi 191
 uzaklık ölçümü 93-102
 uzay-zaman yolları 130, 134-8
 uzaylılar
 araştırmalar 179-86
 Fermi Paradoksu 177-8, 180, 185
 tahminler 178-180
 uzunluk, ve görece hız 87-102
 Whitaker, Craig F. 9
 Wolfe-Simon, Felisa 192
 yakınsayan sonsuz seriler 25-7
 yanlış-çıkarımlı paradokslar 1-5
 yapıcı/yıkıcı girişim, dalgalar 167-9
 yarı-ömür 35, 156, 160
 Yarışma Programı Paradoksu 1, 2, 9-21
 yaşam
 dünyada 189-93
 dünyadışı 177-93
 yerçekimi *bkz.* kütleçekim
 Yerel Grup 42
 yıldızlardan gelen ışık 39-58
 Yunanlar, Antik, ve mantık 23-33
 zaman
 akışı 106-8
 Eşdeğerlik İlkesi 118
 görelî 103-6, 108-21
 görelilik kuramları: genel 111-5, 116-20;
 özel 108-11, 116, 133-4
 Newton'a göre 106
 ölçümü 93-101
 zaman çizgileri 123, 124 *şkl.*
 zaman genişleme etkisi 111-5, 116-9
 zaman manzarası 130-3
 zaman oku 132-3
 zaman yolcularının olmaması 140-1
 zaman yolculuğu
 blok evrende 132-3
 geçmiş 121, 122-9
 geleceğe, görelî 120-1
 görelilik kuramları 127
 ışık hızına yakın 102-4
 paradokslar xiii, 122-41, 144; tutarlı
 çözümler 133-35
 solucandelikleri 138-41
 ve çoklu-evren 136-41
 ve Termodinamiğin Birinci Yasası 125,
 135, 138
 zaman-makinesi talimatları paradoksu 122-4,
 125, 134-5
 ve çoklu-evren 137-8, 138-41
 zamansal eğriler/zaman döngüleri 127, 130-3,
 137-40
 zayıf antropik ilke 193-4
 Zeno, paradoksları 22-33
 ve kuantum mekaniği 34-8, 106, 197

Yazar Hakkında

Profesör Jim Al-Khalili, ağırlıklı olarak kuantum mekaniğine odaklanmış araştırmalarını Surrey Üniversitesi'nde yürüten, günümüzün önemli kuramsal fizikçilerinden biridir. Akademik çalışmalarının yanı sıra kitaplar yazmakta ve BBC için düzenli radyo ve televizyon programları hazırlamaktadır. Önemli övgüler toplayan ve prestijli ödüllere aday gösterilen kitaplarından bazıları *Kuantum Sınırında Yaşam* (Johnjoe McFadden ile, Domingo, 2016), *Uzaylılar - Bilim Soruyor: Orada Kimse Var mı?* (editör, Domingo, 2017), *Pathfinders: The Golden Age of Arabic Science* ve *Quantum: A Guide For the Perplexed*'dir. Jim Al-Khalili bilimin iletişimi konusunda yaptığı çalışma ve katkılardan dolayı İngiliz Kraliyet Akademisi Michael Faraday, Fizik Enstitüsü Kelvin ve 2016'da Stephen Hawking madalyaları almıştır.

