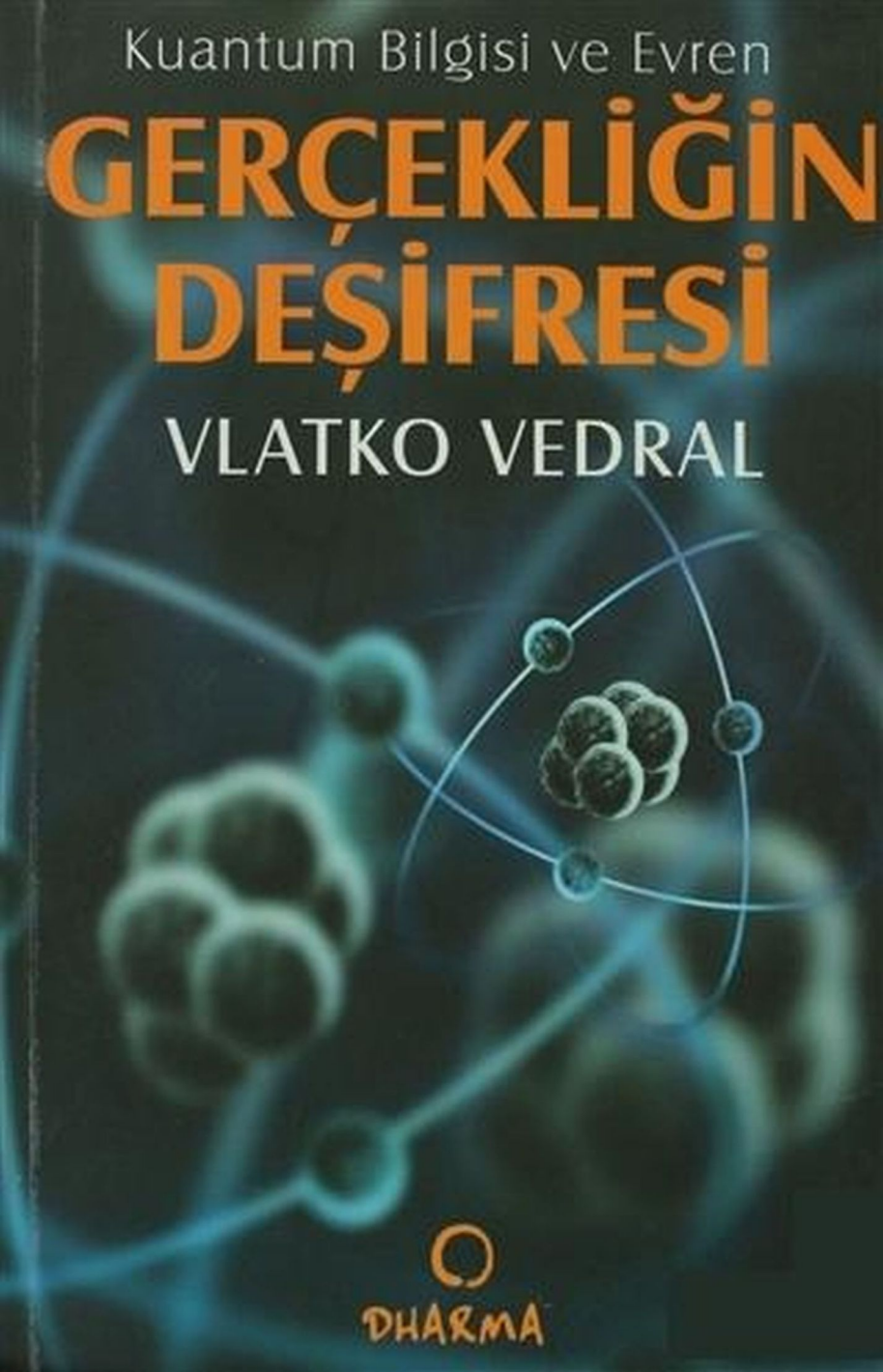
Kuantum Bilgisi ve Evren

GERÇEKLİĞİN DEŞİFRESİ

VLATKO VEDRAL



DHARMA

Gerçekliğin Şifreleri
Kuantum Fiziği ve Evren

Gerçekliğin Şifreleri - Kuantum Fiziği ve Evren / Vlatko Vedral
Orijinal adı: Decoding Reality - The Universe as Quantum Information.

© Dharma Yayınları, 2010
© Oxford University Press 2010

Yayın hakları Dharma Yayınları'na aittir.
Yayıncının yazılı izni olmaksızın çoğaltılamaz.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı yapılabilir.

1. Baskı Şubat 2011

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni: Namık Kemal Atalay
Editör: Halil Gökhan
Kapak Tasarımı: Dharma Creatif
Sayfa Düzeni: Çiğdem Dilbaz

Şelale Basım ve Yayıncılık San. Tic. Ltd. Şirketi'nde basılmıştır.
Turgut Özal Cad. No: 137 İkitelli - İstanbul
Tel: (0 212) 549 62 62

Kütüphane Bilgi Kartı (CIP):
Vlatko Vedral
Gerçekliğin Şifreleri - Kuantum Fiziği ve Evren
Kuantum Fiziği, Bilim
İstanbul, Dharma Yayınları, 2011, 272 sayfa

ISBN 978-605-5598-38-9

Dharma Yayınları
Nuruosmaniye Cad. Eser İş Hanı 21-23
Kat: 2 No: 205 Cağaloğlu/İstanbul
Tel: (0 212) 512 81 21 - 528 62 12 • Faks: (0 212) 512 50 21
dharma@dharma.com.tr
www.dharma.com.tr

Gerçekliğin Şifreleri
Kuantum Fiziği ve Evren

Vlatko Vedral

Türkçesi: Yazgı Evrim Denizci

DHARMA®

Vlatko Vedral, Lisans öğrenimini Imperial College London'da teorik fizik bölümünde tamamladı ve aynı üniversitede *'Kuantum Dolaşıklığı Bilgi Teorisi'* konulu teziyle doktora derecesini aldı. Vedral 2009 yılı Haziran'ından beri Oxford Üniversitesi'nde Kuantum Bilgisi Profesörüdür. Kariyeri boyunca çeşitli uluslararası kurumlarda kürsü konuşmaları yaptı. 130'dan fazla araştırma makalesi ve iki ders kitabı yayınlandı. Popüler bilim dergilerinde ve başlıca günlük gazetelerde yayınlanan yazılarının yanı sıra, çeşitli radyo programları ve televizyon röportajları da bulunmaktadır.

Anneme adanmıştır. Yokluğunun acısı, sana dair kodlanmış anılarımla az da olsa hafifliyor.

İçindekiler

Teşekkür 9
Önsöz 11

1. Creatio ex nihilo: Hiçlikten Varlığa 15
2. Bütün Zamanlar İçin Bilgi 25

BİRİNCİ BÖLÜM

3. Öze Dönüş: İkili Sayılar ve Parçacıklar 37
4. Dijital Aşk Hikâyesi:
   Yaşam Beş Harfli Bir Kelimedir 50
5. Murphy Yasası:
   Bunun Başıma Geleceğini Biliyordum 73
6. Bahisler Açılsın: Kazanmadan Dönmek Yok 95
7. Sosyal Bilişim: Bağlantıda Kal ya da
   Bu Uğurda Geçsin Hayatın 111

İKİNCİ BÖLÜM

8. Kuantum Schmuntum: Işıklar, Kamera, Aksiyon! 139
9. Dalgalarda Sörf: Hiper-Hızlı Bilgisayarlar 160
10. Başıboş İhtimallerin Çocukları:
    Rastlantısallığa Karşı Determinizm 182

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
11. Denizdeki Kum Hesabı:
İyi de Bu Bilgi Nereden Geliyor?.....207
12. Tümden Yıkım: Hiçlikten Çıkan Bir şeyler.....224

SONSÖZ 255
NOTLAR.....261

Teşekkür

Teşekkür edilmesi gereken birkaç kişi var ve onlar olmasaydı bu kitap asla yazılamazdı. Geçen 15 yıllık araştırma kariyerimde etkilendiğim çok sayıda araştırmacı oldu. Beni en çok etkileyenleri soyadı sırasıyla yazmak istiyorum. Janet Anders, Charles Bennet, Sougato Bose, Caslav Brukner, Keith Burnett, David Deutsch, Artur Ekert, Peter Knight, William Wootters ve Anton Zeilinger. Onlar bu kitabın sayfalarında kendilerinden çok şey bulacaklar.

Oxford ve Leeds üniversiteleri fizik bölümlerine de çok teşekkür etmek istiyorum. Ayrıca bilimsel tartışmayı teşvik eden atmosferi sağlayan ve geniş çapta bir dinleyici kitlesiyle bilim konuşmak için bana fırsat tanıyan Singapur Devlet Üniversitesi'ne de teşekkürlerimi sunarım.

Yazmak çok münzevi bir deneyim ve bu yüzden bu kitabı "canlı" bir dinleyici kitlesiyle farklı açılarıyla tartışabilmek büyük bir zevkti. *Cafe'de Bilim* tartışmalarıma ve benzerlerine eşlik eden çok sayıda kişi bu kitapta sohbetlerimizden izler yakalayacaklar. Bilimin üniversite hudutlarından sokaklara yayılmasının gerekliliğine gönülden inanan birisiyim. Çünkü her şey sokakta başladı -Socrates'in yaşadığı Antik Yunan agoraları- ve en nihayetinde de oraya ait. Umarım bu kitapta

bilim konuşurken "hayat üniversitesi mezunlarının sokak dilini" korumayı da başarabilmişimdir.

Çeşitli müsveddeleri okuyup yorumlar yapmanın yanı sıra, sonsuz teşvikleri ve yardımları için Luke Rallant'a minnettarım. Kitabın değişik bölümleriyle ilgili müthiş bir motivasyon sağladı ve o olmasaydı bu proje asla kitap haline gelemezdi. Yine el yazmaları üzerindeki derin yorumlarıyla gelişime yardımcı olan Oxford Üniversitesi Yayınları'ndan Latha Menon ve Leeds Üniversitesi'nden Kerry McKenzie'ye de minnettarım.

İngiliz ve uluslararası birçok arkadaşıma da fon sağladıkları için teşekkür ederim. Özellikle Royal Society ve Wolfson Foundation son derece cömertçe destek verdiler.

Eşim Ivana, oğullarım Mikey ve Leo ve kızım Mia son iki yıl içinde çok ıstırap çektiler. Onlar benim her şeyim -ilk ve sonlarım- ve onlar olmadan şifrelerini çözecek bir gerçeklik de olmazdı. Umarım ilerleyen yıllarda kaybettiğimiz zamanı telafi edebilirim.

Vlatko Vedral,
Oxford ve Singapur Devlet Üniversitesi

Önsöz

1994 yılının sonbaharında Londra'da lisans öğrenimimin son sınıfında okurken, yaklaşan dönemin okumalarını incelediğim bir sırada geleceğimde büyük etkisi olacak olan o iki kelimeye rastladım. Bu iki kelime hem yaşamımda hem de fizikte karşılaştığım sorular üzerine tekrar düşünmemi sağladı. O zaman tam bir kavrayış sağlayamasam da bazı şeyler yavaş yavaş anlam kazanmaya başladı.

Her çocuk, evrenin işleyişini ve keza evrenin içindeki her şeyi yönetiyormuş gibi görünen çeşitli kurallarla (yasalar ve ilkeler) hayatının bir noktasında karşılaşır. Newton'un fizik yasaları, biyolojideki fotosentez döngüsü, Fransızcadaki gramer kuralları, ekonomideki arz talep yasası ve daha da uzayan bir liste vardır. Küçük bir çocukken tüm bu kurallar sınıfta harfi harfine öğretilirken biraz afallar ve düşüncelere dalardım. Sanki bu yasaların kökeninde bir sihirbazın sihirleri varmış da, öğretmenim şapkadan çıkarıveriyormuş gibi düşünürdüm. Hayat ilerledikçe ve dünyayı duyumsayıp, kavrayış biçimimiz de geliştikçe bu sihirbazın "sihirleri" o kadar da gözümü korkutmamaya başladı. Artık onları yapı çözüme tabi tutmak suretiyle, birbirlerinden pek de farklı olmadıklarını anlayabiliyorduk. Sonra farklı disiplinler yoluyla yeterince

kuralı inceleyip bitirdiğimiz bir noktada, bu kuralların birbirleriyle bağlantıları üzerine düşünmeye ve hepsini kapsayan küçük bir temel sihir kitabı olup olamayacağını araştırmaya başladık. İşte şimdi beni ve başkalarını motive eden şey de baktığımız bu büyük resimdir. Hangi hayat yolundan geçerek gelmiş olursanız olun soru aynıdır: Etrafımızda gördüğümüz gerçeklik, birbirleriyle bağlantısız kural ve olayların görünüşe göre rastlantısal bir derleminden mi ibaret yoksa tüm bu kural ve olayların özünden türediği genel ve temel bir iş parçacığı[1] mı var?

Medeniyetin doğuşundan beri meraklı ve sorgulayan zihinler bu genel parça üzerinde düşünüp duruyorlar. Kayayı kayaya ya da ağaç dalını ağaç dalına sürterek ateşi meydana getirdik. Elmanın yere düşüşünü gezegenlerin uydularına bağlayarak Aya seyahat edebildik. Molekülleri mühendislik yoluyla kavrayıp, bütün beden için başarılı bir tamirat çalışması gerçekleştirerek insan yaşamını uzattık. İnsan doğası kavrayışımızla iletişim teknolojilerini birleştirerek, konuştuğumuz diller önemli olmaksızın ürün ve servis anlamında küresel bir piyasa oluşturduk. Gerçekliğin farklı yönlerini kavrama ve birbirleriyle bağlantılarını kurma yönündeki çabalarımız gerçekten de faydalı oldu.

Kavrayışımız daha da geliştikçe bu sürecin devam edeceğini düşünüyoruz. Gelecekteki her tür gelişmenin, bu yeni bilgiyi nasıl yorumladığımız ve bu zamana değin öğrendiklerimizle bağlantısını nasıl kurduğumuz üzerinde temelleneceği açıktır. Daha fazla bağlantı kurarak daha kapsayıcı yasalar geliştirebilir ve sonrasında onları gerçekliğimizi daha iyi kavrayıp, etkilemek için kullanabiliriz. Diğer bir söyleyişle, etrafımızda gördüğümüz şeyi analiz eder ya da kodlarını çözeriz

1 Bilgisayar biliminde, bir işin eşzamanlı işlenen her bir bölümü.

ve hemen sonrasında da bu bilgiyi daha iyi ve daha doğru bağlantılandırılmış bir tablo yapılandırmak ya da kodlamak için kullanırız. Elbette esas soru bağlantıyı ne denli kurabileceğimizdir –tüm evreni tanımlayan tek bir nihai yasa ya da usta bir sihirbazın tek bir hilesi mümkün mü?

Tüm bu araştırmalar içerisinde elbette en heyecan verici ve en temel soru şu olmak zorundadır: Tüm bu gerçeklik neden var ve nereden geliyor? Diğer bir söyleyişle, şeylerin birbirleriyle neden bağlantılı olduğunu konuşmaya başlamadan, önce neden var olduklarını sormamız gerekiyor. Bu kitapta "bilgi" kavramının iki soruya da cevap verebileceğini iddia ediyorum. Tuhaftır bu durum, kendisinde hiçbir anlamlı nitelik bulunmayan madde ya da enerjinin aksine, bilgiyi evrende çok daha temel bir nicelik yapıyor. Gerçekliğe "bilgi bitleri" yönünden baktığımızda, hem gerçekliğin varlığı hem de gerçekliğe içkin bağlantısallık tamamen saydamlaşıyor. İster öylesine kitap okuyan sıradan bir okuyucu olalım, ister bilimsel araştırmalar yapan bir kişi, bu durum hepimiz için fevkalade sonuçlar veriyor.

1994 sonbaharında okuduğum ve bakış açımı müthiş değiştiren o iki kelime şuydu: Bilgi fizikseldir. Bu ardı ardına gelmiş iki kelime aslında pek de dikkat çekmeyen bir kitabın müthiş dikkat çekici bir bölümünün başlığı gibi duruyordu ve aradığımız cevabın bilgi olabileceğini zamanla fark etmemi sağladı. Son 15 yılımı kendimi buna ikna etmekle geçirdikten sonra, şimdi ilerleyen 12 bölümde sizleri ikna etmeye çalışacağım.

1

Creatio ex nihilo: Hiçlikten Varlığa

İnsanlık tarihi boyunca yaşayan her uygarlığın kendine ait yaradılış mitleri bulunur. İnsanoğlu hem kendi kökenini bulmak hem de etrafındaki başka her şeyin başlangıcını anlamlandırmak ister. Derinlere kök salan bu arzu doymak nedir bilmez. Tamamı değilse de bu mitlerin çoğunluğu, varlıkla yakından ilişkili ve evrendeki her şeyde işlevi olan, bir tür daha üstün ya da doğaüstü varlıktan ya da varlıklardan bahseder. En yaygın iki din olan Hıristiyanlık ve İslâm etrafımızda gördüğümüz her şeyin tek bir yaratıcının eseri olduğunu kabul etse de, modern insan evrenin nihai kökeni meselesine hâlâ farklı bakış açılarıyla yaklaşıyor. İnsanlığın altıda birinin mensubu olduğu Katolik mezhebinde Tanrının tüm evreni hiçlikten var ettiği inancı baskındır ve bu inanç creatio ex *nihilo* adını alır. (Dürüst olmak gerekirse tüm Katolikler buna inanmaz ama eğer Papanın izindeyseler inanmak durumundalar.) Doğaüstü bir varlığı postulat etmek[2] gerçekliğin açıklanmasına pek de

2 Ön doğru saymak, ön kabul etmek, konutlamak.

yardımcı olmaz, çünkü hemen sonrasında problem yön değiştirir ve gerçekliğin kökenini açıklamaktan çok, doğaüstü bir varlığın mevcudiyetini izah etmeye döner. Bu izah konusunda da hiçbir dinin hakiki bir cevabı bulunmamaktadır.

Eğer evrenin kökeni üzerine bilim insanlarının muazzam bir kavrayışa sahip olduklarını düşünüyorsanız, tekrar düşünün derim. Hiç kuşkusuz çoğu bilim insanı Tanrıtanımazdır (ilginç olansa bunların %95'inden fazlasının İngiltere'de yaşaması), fakat bu demek değildir ki yaradılışın nasıl bir şey olduğu ve etraftaki tüm bu maddenin nereden geldiğine dair bir tür inanç taşımazlar. Mesele şu ki, tüm bu postulatlar ve aksiyomların içinden geçerek biraz daha derine inildiğinde, onların zihninin de diğer herkes gibi allak bullak olduğu görülür. Demek ki, neden bir gerçeklik olduğu ve özünde nereden geldiğini açıklama noktasında ister dindar olalım ister olmayalım, hepimiz aynı aldatıcı soruya gelip dayanıyoruz.

Dünyaya dinî ya da felsefî bakış açısıyla yaklaşan bir kitap okuduğumda, biz bilim insanlarının bilimsel fikirleriyle bağlantılı bazı düşünceler mutlaka dikkatimi çeker. Örneğin "indirgemecilik"[3] yaklaşımı –her şeyi tek ve yalın bir nedene indirgeme çabası– hem dinî hem de bilimsel düşüncede ortaktır. Araştırma yöntemleri farklılık gösterse de, tıpkı dinde her şeyi tek ve evrensel bir Tanrıya indirgediğimiz gibi, bilimde de her şeyi tek bir birleştirici teoriye indirgemek için çabalar dururuz. Bilinmeyenler sayısını eksiltmeye yönelik bu yaradılıştan gelen arzu, pekâlâ her yaptığımız şeye sinmiştir. Peki, neden böyle olmak zorunda?

Yalınlaştırmaya yönelik bu doğal arzunun genelde iki farklı sebebi bulunur. İlki şudur: Biz insanların imgelemi son derece sınırlıdır ve dünyayı anlamlandırmaya çalışırken hangi

3 İng: Reductionism.

aracı kullanırsak kullanalım –bilim, din, felsefe ya da sanat– halihazırda mevcut bir dizi aynı sınırlı fikirle iş görerek olayı sonlandırırız. Diğer bir söyleyişle, gerçekliği daha iyi tanımlamak adına ilk adımımızı atarken kullandığımız fikirler birbirinden çok da farklı değildir. Ünlü Amerikan psikolog Abraham Maslow'un da belirttiği gibi, tek aletiniz çekiçse her sorun bir çiviye benzer. Bizim konumuzun içeriğinde bu çekiç, basit sebep sonuç bağlantılarını bulmaya yönelik doğal isteğimiz olabilir. Biz insanlar karmaşıklığı indirgeyerek büyüyüp gelişiriz ve kavrayışımızdaki tüm karmaşayı eninde sonunda tek bir ilke (ister tek bir Tanrı ister her şey hakkındaki tek bir teori olsun) yoluyla özetlediğimizde onu daha güzel ve daha inanılası buluruz.

Gerçekliğimizin, örneğin evrene bakışımızın, gerçek evrenin kendisinden farklı olabileceğini anlayabilmek de önemlidir. Gerçekliğimizi evreni kavrayışımız yoluyla yaratırız ve gerçekliğimiz bildiklerimizle temellenen bir olasılık durumundadır. Maslow'un sözlerine kulak verirsek her durumda sınırlandığımızı anlar ve var ettiğimiz her tür gerçekliğin, evrenin gerçekte ne olduğuna dair yalnızca bir kestirim, bir tahmin olduğunu kabul ederiz. Bu bağlamda gerçekliğimizi inşa edip sonrasında açıklamak üzere gözlem yaparken, tek başına ortaya konan tezin bir şekilde evrenin gerçekliğine katışık olması da kaçınılmazdır; bu da konuyla ilgilenirken elbette rahatlatıcı bir bakış açısı sağlıyor.

Bununla bağlantılı olarak, ikinci sebebe gelelim. İnsanlar sosyal varlıklardır. Sanatçılar, bilim adamları, ruhban sınıfından olanlar ve olmayanlar birbirleriyle fikir alışverişi yaparlar ve evreni daha iyi anlama çabasıyla kendi gerçeklik resimlerini çizerken, bu fikirler birbirlerinin yapıtlarında da kendini gösterir. Bir alandaki güzellik ve gerçeklik kavramlarının başka bir alanı da bir şekilde etkilemesi kaçınılmazdır.

Bu bir dolu çetin ceviz iddia bolluğunda hiç şüphe yok ki hepimiz az ya da çok benzer bir yol izleriz.

Alman filozof Ludwig Feuerbach'a göre, "İnsan önce farkında olmadan ve istemsiz olarak Tanrıyı kendi imgesinde yaratır ve bundan sonradır ki Tanrı bilinçli ve istençli olarak insanı kendi imgesinde yaratır." Tanrıyı gerçeklikle eşanlamlı alırsak, insanın gerçeklik algısıyla gerçekliğin kendisinin de aslında birbirinden ayrılamadığı sonucunu çıkarırız. İnsan gerçekliği yaratır ve sonra onu kendini tanımlamak için kullanır. Karmaşıklığı indirgemeye çabalarken, gerçekliğimizi mümkün olan en yalın sebepler doğrultusunda inşa etmeye çalışmamız bu defa da pek şaşırtıcı gelmiyor.

Fikirlerimizin tek noktada birleşme sebebine dair iyimser bir bakış açısı da şu olabilir. Yaşam, evrenin geri kalanıyla bir arada evrilmektedir. Evreni biçimlendiren aynı yasaların cismanileşmiş haliyiz ve imgelemimizin de bu durumla özel bir bağıntısı var. Bilinçli ya da bilinçsiz bu yasalarla birbirimize yaklaşır ve kavuşuruz. Bu bakış açısına göre, kavuşumun esas harekete getiren sebebi evreni tanımlama çabamızda daha öncekiler gibi bir sınırlama teşkil etmiyor, aksine evreni sarıp sarmalayan yasalara doğal şekilde çekilmemizi sağlıyor. Bakış açıları oldukça benzer görünüyor ancak esas farklılığı sonuncusunun daha iyimser olması yaratıyor. Önce kendi gerçekliğimizi yaratıp, sonrasında evreni bu gerçeklikle tanımlamaya çalışmak yerine içimize ümit serpiyor, çünkü biliyoruz ki evreni tanımlayan yasaları cismanileştirdiğimizde doğru yoldayız. Peki bu yolculuğun sonunda aranan yalınlığa kavuşabilecek miyiz?

Bilim insanlarında büyük saygı uyandıran görüşlerden birisi Occam'ın usturasıdır. Bir on dördüncü yüzyıl İngiliz mantıkçısı ve Fransisken rahibi olan Occam'lı William bize, gerek olmadığı sürece varsayımların çoğaltılmaması gerektiğini ya

da başka bir deyişle en basit açıklamanın genelde en iyisi olduğunu anlatır. Basitliğin tamamen öznel olduğunu iddia edebilirsiniz fakat 10. bölümde basitliği nesnel bir şekilde ele alan evrensel bir bakış açısı olduğunu göstereceğim.

Occam'ın mantığının izinden gitmek aynı zamanda evrendeki her şeyi tek ve bütünce kuşatıcı ilkeye indirgeyerek açıklamak anlamına da gelebilir. Düşünsenize; hayatlarımızı, âşık olmayı, gezegenlerin hareketini, borsadaki hareketlenmeleri ve diğer her şeyi tek bir ilkeyle açıklamak kolay olmaz mıydı?

Fakat bu Occam'ın usturasını iyice keskinleştirmeye yetecek mi? Neden şu tek ilkeden kurtulup ortada ilke falan yokken çıkarımlarımızı yapmıyoruz? Emin olun bu daha da basit ve sonuçta Occam'ın mantığıyla düşünüldüğünde gerçekliği daha iyi yansıtabilir. Ünlü Amerikalı fizikçi John Wheeler hiçbir ilke olmaksızın çıkarım yapmayı "yasasız yasa" diye tanımlıyor. Wheeler mantığı şöyle yürütüyor; eğer fizik yasalarını a priori[4] fizik yasalarına başvurmadan açıklarsak, her şeyi açıklama yolunda daha iyi bir konumda bulunuruz. Bu bakış açısı tam da o çok bilindik bilimsel görüşe, *–creatio ex nihilo–* yani hiçlikten varlık görüşüne benziyor.

Ünlü Alman matematikçisi, felsefecisi ve calculus'ün mucitlerinden biri olan Gottfried Wilhelm Leibniz bu mantığı Tanrı kanıtlamasında kullandı. Evrende hiçlikten ziyade varlığın varoluşunu şaşırtıcı buluyordu. Hele de bu hiçliğin açık ara daha basit bir durum olduğu düşündüğü zaman şaşkınlığı daha da artıyordu. Bir şeyin varoluşuna yönelik bulabildiği tek açıklayıcı sebep, bağımsız bir varlığın o şeyi yaratmış olmasıydı. Dışsal bir etkinin varlığı önermesinin ispatı için bu sebep yeterliydi ve ona göre bu etkiyi yaratan varlık Tanrı

4 Deney öncesi, önsel.

idi. Böylece pek çokları gibi o da *creatio ex nihilo* problemine doğaüstü bir varlık postulat etmekten başka bir çözüm getiremiyordu.

Bir yasa (ya da bir tür genel ilke) postulat etmeden her şeyi açıklayan bir yasaya sahip olmanın aldatıcılığı, ilkin Wheeler'in öğrencilerinden biri olan, Oxford fizikçisi David Deutsch tarafından ortaya kondu. "Bilimsel metotlarla yaklaşabileceğimiz, tümden açıklayıcı bir fiziksel ilkemiz yoksa, muhtemelen bu, doğal dünyanın temelinde ulaşılamaz bazı yönler olduğunu gösterir." Diğer bir söyleyişle, hükmedici bir ilke bulamazsak, bilim evreni açıklayamaz ve kendi temel amacı konusunda başarısızlığa mahkûm olur. Deutsch, evreni tek bir ilke, yani P[5] ile açıklamak konusundaki herhangi bir yetersizliğin rasyonalizme ve "evrensel bir bilim olarak fiziğe (ki madde sürecinin ardındaki temel itici güçtür ve bizler için vazgeçilmesi hiçbir koşulda mümkün olamaz) bakış açımıza doğrudan ters düşeceğini" söyleyerek devam ediyor.

Deutsch'a göre, plağın öbür yüzünü çevirdiğimizde durum yine problematiktir. Fizikte P gibi tümden açıklayıcı bir ilke olsaydı, kökeni yine sonsuza kadar çözülemeyecek olurdu, çünkü hiçbir ilke ya da yasa kendi özsel kökeni hakkında açıklama getirmez. Bu tıpkı bir klimaya, "sen neden bir klimasın da, sandalye değilsin?" diye sormaya benzer. Açıkçası cevap klimanın dışında uzanır, çünkü klima sadece olduğu gibi olmuştur. Bu yüzden fizikte her şeyi açıklayan temel bir ilke ya da yasa (P) diye bir şey paradoksal olması anlamında mümkün değildir. Çünkü kökeni yine fiziğin dışında olmak durumundadır ve bu bizi yeniden Wheeler'in kendi kendisiyle çelişen ifadesi "yasasız yasa" kavramına götürür.

Deutsch'ın mantığı, evreni tek bir ilkeden yola çıkarak

5 Mantıksal çıkarıma başlarken ortaya konan ilk önerme.

açıklamaya çabalarken dikkatle yürümemiz gereken o ince çizgiyi gösteriyor. Peki bu temel ilkenin açıklayacağı şey tam olarak ne? Evrendeki tüm objeleri; sandalyeleri, klimaları mı açıklamaya çalışıyoruz, âşık olmak gibi sosyal etkileşimleri mi tartışıyoruz, yoksa maddenin temel yapıtaşları ve etkileşimleri gibi daha temel bir şeyden mi bahsediyoruz? Emin olun bu yolda yürürken evrendeki her şeyi ve birbirleriyle ne tür bir bağlantıda olduklarını açıklamak durumundayız.

Bu kitap her şeyin temelini oluşturan yapı taşının, madde, enerji ya da sevgi değil, bilgi[6] olduğunu ileri sürüyor. Bilgi, maddeden ya da enerjiden daha temeldir çünkü ekonomi ya da sosyal fenomenler gibi makroskobik[7] etkileşimlere uygulanabildiği gibi, bu kitapta tartışacağım üzere enerji ve madde gibi mikroskobik etkileşimlerin kökenine ve davranışına da uygulanabilir.

Bununla birlikte Deusch ve Wheeler'in de hemfikir olduğu üzere, evrenin temel yapı taşı adaylığına önerdiğimiz şey ne olursa olsun son kertede yine "kendi kendisinin" nihai kökenini açıklamak durumundadır. Diğer bir deyişle yine kilit nokta hiçlikten varlık, yani *creatio ex nihilo* sorunsalı olmaktadır. Öyleyse burada iddia ettiğim gibi bilgi ortak noktaysa, *creatio ex nihilo* problemi de bilginin yokluğundan bilginin çıkışını açıklamaya indirgenmiş olur. Bu kitapta bunun nasıl mümkün olduğunu göstermekle kalmayıp, bilginin, madde ve enerjinin tersine, kendi menşeini açıklayabilen *tek* kavram olduğunu da savunacağım.

Bilgi, Deutsch tarafından tartışılan tümden açıklayıcı P ilkesini bulmamıza da yardım edecek mi? Kitabın üçüncü bölümünde, gerçekliğe bilgi penceresinden baktığımızda bu so-

6 İng: Information. (Enformasyon)

7 İriölçekli.

runsalın da artık bir anlamı kalmayacağını gösteriyorum. Bu noktada yolculuğun (ki bu hususta yolculuk, gerekli bilgiyi doğuran yöntemdir) kendisinin, varılacak yerden (açıklayıcı fiziksel yasa) daha önemli hale geldiğini anlıyoruz. Burada nihai bir varış hedefimiz var mı sorusunun yanıtını ararken nihai fiziksel ilke kavramını, evrenin temeli için zorunlu bir yapı olmaktan çıkarıp, kendi yarattığımız gerçekliğin içine oturtuyor ve bu doğrultuda evren evrilirken bizim hedefimizin de evriliyor olma ihtimalini araştırıyoruz.

Peki sormamız gereken önemli soru ne? Bilginin ana çerçeve olduğu ve bilgi yoluyla gerçekliği kavrayabileceğimiz konusunda anlaştıysak, o zaman tüm doğal fenomeni de bilgi vasıtasıyla açıklayabilmemiz gerekir. Bölüm 3 ve 10 arasında işlenen bu konu kitabın çekirdeğini oluşturuyor. Kitap ilerledikçe bilgiyi eksiltmenin onu daha iyi anlamakla sonuçlanacağını görüyoruz. Bir konuyu iyi anladığımızda birkaç temel ilke dahilinde özetleyebiliriz. Bu önce garip gelse de aslında mantıklı olduğunu da biliyoruz. Örneğin havaya atılan bir tenis topunun dinamiklerini 100 farklı yasayla açıklamaktansa (bu arada her yasa farklı koşullar altında uygulanabilirdir) tüm olası koşulları kapsayan bir yasa durumu daha iyi anladığımızı hissettirir. Sonuç olarak gerçekliğimizi, içerdiği tüm o sıkıştırılmış bilgiyle daha iyi kavrarız.

Öte yandan, biz durup dinlenmeden gerçekliğimizin içindeki bilgi miktarını eksiltmeye çalışırken, başka bir temel argüman (doğru anlaşılırsa eğer), evrenin içindeki tüm bilginin bir bütün olarak yalnızca çoğaltılabileceğini öne sürüyor. 5. bölümün konusunu oluşturan bu argüman evren kendini daha da fazla açığa çıkardıkça, onun ne olduğu ya da ne olmadığı hususundaki gerçeğimizin, sonrasında sıkıştırılmayı bekleyen daha da fazla bilgi halinde giderek daha da büyüdüğünü iddia ediyor. Bu noktada bir eşek analojisi kullanmak eğ-

lenceli geliyor. Eşeğin biri hemen başının önünde, sabit bir uzaklığa yerleştirilmiş bir havuç taşımaktadır. Hayvancağız tam da neredeyse başardığını düşünerek havuca yaklaştıkça, havuç yaklaştığı yol kadar başından uzaklaşır. Havucun kendisine bir çubukla bağlı olduğunun farkında olmayan eşek, kötü kadere mahkûm olduğunu fark etmeden dener de dener. (Velhasıl bir eşektir). Uzun yolunda yürüyen (ve bu arada havucun yapısını da yakından tanıyan) eşek, birincil derecede önemli amacını da yitirir.

Bu bağlamda bilgiyi sıkıştırmak (yani tüm gerçeklik kavrayışımızı birkaç kucaklayıcı ilke yoluyla sıkıştırmak) arzusu ile evrendeki bilginin (anlamak durumunda olduğumuz toplam miktarın) doğal artışı arasında bir bölünme ortaya çıkıyor. Bilgiyi sıkıştırma arzusu ve evrendeki bilginin doğal artışı, ilkin birbirinden bağımsız süreçler gibi görünebilir, ancak ilerleyen bölümlerde detaya girdikçe bir bağlantı olabileceğini de keşfediyoruz. Gerçekliğimizi tanımlayan öz-kapsayıcı ilkelerin tamamını bulup sıkıştırırken, yine aynı ilkeler evrenimizde daha da çok bilgi bulunduğunu haber verirler. Feuerbach'ın "Önce İnsan Tanrıyı yaratır, sonra Tanrı İnsanı" şeklinde ifade ettiği gibi, biz de bilgiyi sıkıştırarak yasalar elde edip, bu yasalarla gerçekliğimizi inşa ettiğimizi, sonrasında bu gerçekliğin daha başka bilgileri nasıl sıkıştıracağımızı bize anlattığını söyleyebiliriz.

Karşıt görüşte olanlar olsa da, bilgiyi sıkıştırma yoluyla gerçekliği tanımlayan bu bakış açısının bilimin pratiğine olduğu kadar ruhuna da yakın olduğuna inanıyorum (bu bilimsel yöntem bölüm 10 ve 12'de tüm ayrıntılarıyla inceleniyor). Bu bakış açısı ayrıca, bir sistemle ilgili bildiklerimizin değişkenliğinin derecesini de yansıtan bilimsel bilgiyle de benzeşmektedir. Bölüm 3'te bu tespit de incelenecek.

Belki de evrene bu açıdan bakmak, "hiçlikten var olma"

karşısında "her şeyin yok olması" şeklinde adlandırılsa daha uygun olur. Nihayetinde burada gerçekliği sıkıştırma yoluyla tanımladığımızı iddia ediyoruz. Bu konu da kitabın üçüncü ana bölümünde ayrıntısıyla incelenecek.

Anahtar Noktalar

- Evreni kavrayışımızı ve onunla neyin mümkün olduğu ya da olmadığını, yani gerçeklik kavramımızı ortaya koyuyoruz. Gerçeklik kavramımız devamlı olarak bizim sürecimizle birlikte evrilmektedir.
- Evreni tanımlayan nihai bir yasa fikri ve varlığın hiçlikten doğuşu –*creatio ex nihilo*– sorunsalıyla cebelleşiyoruz.
- Bu kitap bilginin etrafımızdaki tüm fenomenleri birbirine bağlayan esas zincir olduğunu ve bunu da kendi kökenini izah ederek yapabildiğini öne sürecek. Son kertede gerçekliğimiz bilgiyle kuruluyor.

2

Bütün Zamanlar İçin Bilgi

Bir partiye geç kaldığınızı düşünün. Herkes gelmiş, büyük yuvarlak bir masanın etrafında oturuyor. Ev sahibi masada oturan diğer konukların yanına size davet ettiğinde herkesin oyun oynamak üzere bir araya geldiğini anlıyorsunuz. Ev sahibi sizi selamlayıp oyuna katılmanızı söylemekten başka bir şey yapmıyor. Diyelim ki poker oynamayı seviyorsunuz ve oyuna katılacağınız için heyecanlandınız. Fakat oturur oturmaz oynanan oyunun poker olmadığını fark ediyorsunuz. Ve olan bitenle hiçbir ilginizin olmadığı da o an kafanıza dank ediyor. Ev sahibiyle konuşmak için şöyle bir bakınıyorsunuz ama ortalarda yok. Daha gecenin başında bilgisizliğinizi açık etmek istemiyor ve derin bir nefes alarak sakinliğinizi koruyup, sessizce gözlemeye devam ediyorsunuz.

İlk fark ettiğiniz şey kimsenin ağzından tek kelime laf çıkmaması ama zaten bunun bir oyun olup olmadığı da meçhul. Biraz tuhaf gibi ama belki oyunun kurallarından biridir diye düşünüp devam ediyorsunuz. Oyuncular Tarot kartlarına benzer bir deste kullanıyorlar ve her birinin üzerinde bir aslanı öldüren savaşçı ya da iki kılıcı çapraz tutan bir kadın figürü gibi ayrıntılı resimler var. Yan yana oturan oyuncular birbirinin peşi sıra kartları açtıkça diğer oyuncular açılan kar-

tı ve aynı zamanda kartı açan oyuncunun kartın anlamını da bir nevi doğrulayan beden dilini de gözlüyorlar.

Sonunda sıra sizin yanınızda oturan oyuncuya geliyor. Oyuncu, başının üzerinde yükselen kılıcıyla ölü bir aslanın üzerinde ayakta duran bir kral figürü açınca kendi kendinize sorular soruyorsunuz: "Bu kart bir aslanı öldüren bilindik bir kraldan mı bahsediyor?", "Genel anlamda kraliyet ailesini mi sembolize ediyor?" yoksa "Kişisel bir başarı için kullanılan bir metafor mu? Düşünceleriniz böyle böyle şekillenirken diğer kart da açılıyor; işte kırmızı bir ejderha. Önce bir tür tehlike çağrışımı yapıyor, ancak sonrasında iki karta birlikte bakınca kartların bir Gal kralını (kırmızı ejderha Gal ülkesinin ikonudur) ya da tehlikeyle yüz yüze gelen güçlü bir insanı temsil edebileceğini düşünüyorsunuz. Sırayla açılan diğer üç kart: çaprazlanmış iki kılıç, bir nehir ve son olarak bir dilenci.

Şu ana kadar oyuncuların kartlar ve beden dilleri yoluyla birbirlerine bir tür mesaj iletmeye çalıştıkları ortada. Ayrıca yeterince kart açılmadığı takdirde büyük ihtimalle oyunun anlamını çözemeyeceğinizi de anladınız. Tam o anda kendi kendinize iletmeye çalıştıkları şey tam olarak ne olduğunu ve bu uğraşın temel sebebini sormaya başlıyorsunuz. Bu kişiler uydurdukları hikâyelerle birbirlerini eğlendirerek yaşam öykülerini mi anlatıyor, yoksa her bir kart kombinasyonu "puanlar" kazanmalarını mı sağlıyor? Eğer bu bir oyunsa nasıl kazanılır? Değilse de olan bitenin amacı ne?

Bu hikâye ünlü İtalyan yazar Italo Calvino tarafından kurgulandı. Hikâyenin özünde oyuncuların kendi hayatlarını anlatma çabaları var ancak bunu sadece kartlardaki imajları kullanıp biraz da yaratıcı mimiklerden ve yüz ifadelerinden faydalanarak yapabiliyorlar.

Calvino'nun kitabında bu oyun temel hayat metaforu olarak kullanılmış. Peki neden? Aslında benim için yazarın ne

anlatmak istediğini tahmin etmek zor. Yazarlar sanatçıdır. Çalışmalarının özünü müphemlikleri ve başka başka insanların aynı eseri farklı şekilde yorumlayacak olmaları oluşturur. Fakat ben bir bilim insanıyım (tıpkı Calvino'nun ebeveyni gibi) ve bu anlamda Calvino'nun kart oyunu bizim gerçeklik anlayışımızı şekillendirmemizden pek de farklı değil.

Calvino'nun oyunu tıpkı doğayla ya da diğer bir söyleyişle evrenin geri kalanıyla olan diyaloğumuza benzer. Oyuncuların her biri doğanın farklı yönlerini, sizse gözlemciyi temsil edersiniz. Örneğin bir oyuncu ekonomi, diğeri fizik, birisi biyoloji ve öbürü sosyoloji olabilir. Zaman geçtikçe her bir oyuncu sırayla kendi kuralları ve davranımları hakkında daha fazla gerçeği açığa çıkarır. Doğa, tıpkı oyuncular gibi sessizdir fakat niyetini olaylar ve onları çevreleyen atmosfer aracılığıyla belli eder. Doğanın iletişim kurmak için "bilgi"yi kullanması hiç de şaşırtıcı değil. Kart oyunu bilginin ayrık birimlerle yani tek tek kartlarla geldiğini gösteriyor. Bir kartı daha küçük birimlere bölemiyoruz. Sonuç olarak Calvino'nun kullandığı metaforun ilk mesajı şu; evrensel olarak kullanılan temel bilgi atomları vardır. Biz bilim insanları bu atomlara "bitler"[8] ya da ikili sayılar diyoruz. Bu parçacıkları Bölüm 3'te daha etraflı tartışacağız.

Calvino'nun ikinci mesajıysa şudur. Herhangi bir kart serisi ne denli anlaşılır olursa olsun, gözlemci (bu durumda siz ve diğer oyuncular) tarafından yorumlanmak durumundadır. Yorum, oyuncunun iletmeye çalıştığı mesajı doğrulayabilir, doğrulamayabilir ve farklı gözlemciler arasında çeşitlilik gösterebilir. Hatta gözlemci kendi gözlemlediği şey hakkında da farklı bakış açılarına sahip olabilir. Durum tıpkı doğayı gözlemlerken karşılaştığımız o özsel belirsizliğe benziyor, yani iki insanın yorumları tümden farklı da olabilir.

8 Bit: İkili.

İlginçtir, oyunda sıranız geldiğinde oyuncu siz, gözlemciyse doğa olmakta, kartlarınızı açmanız doğada geri yansımaktadır. Aslında burada bir düalite[9] söz konusu, yani oyunu etkilemeden masada bulunmanız mümkün değildir. Bu da Calvino'nun öyküsünün üçüncü mesajı; gerçek hayatta da hem gözlemci hem de oyuncusunuz.

Calvino'dan çıkarabileceğimiz dördüncü mesaj, aynı kartın başka kartlarla yan yana çekildiğinde farklı anlamlara gelebilmesi hususuyla ilgilidir. Kartı gözleyen kişi önemli olmaksızın, her kart kendi özsel belirsizliğini taşır. Yani aynı kırmızı ejderha kartı, bulunduğu kart dizisinin içinde tehlikeyi, korkuyu ya da Gal ülkesini temsil edebilir. Bütün kart serisi ortaya konduğunda, tek tek kartların anlamları, bulundukları bağlam içinde daha da açık hale gelir. Böylece Calvino'nun ikinci ve dördüncü hususlarıyla ilgili olarak parçacıkları da temsil eden bu kartlar, kendilerini yorumlayan oyuncu kadar hangi kartlarla birlikte çekildiklerine de tabi olmaktadırlar. Bu yönüyle aslında kartlara tek tek bakamıyor, birlikte çekilip masaya birlikte kondukları kart serisi bağlamında değerlendirmek zorunda kalıyoruz. Bu nitelik bilimde "bağlamsallık" adı altında halihazırda karşımıza çıkmıştır.

Bu durumdan çıkarılabilecek en çarpıcı sonuçlardan biri de şudur. Sonraki bilgi parçacığı önceki görüşümüzü yanlışlayabilir ve mesajın özünü tamamen değiştirebilir, bu yüzden de doğa üzerine yaptığımız yorumumuzdan asla emin olamayız. Örneğin bilimde belli bir teoriyi olumlayacak 1000 deneysel sonuç elde edebiliriz, fakat bir sonraki sonuç teoriyi tamamen yanlışlayabilir ve doğanın ilettiği mesajı düpedüz hatalı anladığımızı da gösterebilir. Calvino'nun hikâyesinde bu durum, dizideki son kart açılana kadar mesajdan emin olamaya-

9 İkilik, ikilem.

cağımız anlamına gelir. Öyle ki son kart hikâyenin tüm meselesini değiştirebilir. Aklıma antik Yunan filozofu Socrates'in "Ölene kadar kimse mutlu hayat yaşıyor olarak değerlendirilemez" ifadesi geliyor. Hayatınızın büyük bölümünü mutlu geçirmiş olabilirsiniz, fakat son nefesinize kadar mutlu bir hayatınız olduğundan tam olarak emin olamazsınız. Tüm bilimsel bilgi yapısını bu tür bir mantığın (gaddar da bir mantık) biçimlendirdiğini göreceksiniz.

Calvino'nun oyununu biraz daha incelersek, doğayı gözlemleyişimiz konusunda da bazı ilginç paralellikler yakalayacağız. Tıpkı oyuna sonradan gelen gözlemci gibi biz insan türü de oyuna biraz geç katıldık. Oyunu yaşam metaforu olarak alıyorsak ve bu oyun 10 senedir sürüyorsa biz katılalı daha birkaç dakika oldu. Doğanın bazı öğeleri, örneğin fizik gibi, daha en başından beri vardı. Yani bizler kendi gerçeklik modelimizi oluştururken halihazırda muazzam bir bilgi iletilmişti.

Calvino'nun oyuncuları bellidir ve sahne çoktan kuruludur ama Calvino oyunun neden başladığından ve oyuncuları kimin davet ettiğinden bahsetmez. Soruyu açık bırakır, tıpkı gerçeklikteki gibi. Bu durum oyuncuların nereden geldiği meselesini yeniden alevlendirir ve yine şu çetin ceviz *creatio ex nihilo* konusuna gelir dayanır.

Gerçekliğin yorumlanması konusunda Calvino'nun hikâyesine benzer hikâyelerde canlandırılanlardan çok daha fazla söylenecek var. Hikâye bize bilgiyi nasıl tam olarak ölçebileceğimiz ve bu bilgiyi, bırakalım tüm evreni, herhangi bir verili duruma nasıl uygulayabileceğimizle ilgili somut ayrıntılar ya da komutlar vermiyor. Tarot kartlarının dizilimi, örneğin, bizi benzersiz bir hikâyenin çıkarımına da götürmüyor. Peki bir hikâyenin diğerinden daha olanaklı olduğuna nasıl karar vereceğiz? Yoksa tek bir hikâye seçmek yerine tümünü tek bir süper hikâyede mi birleştirmeliyiz?

Calvino'nun hikâyesinde eksikliğini hissettiren bir başka çetrefilli problem de şudur. Doğanın bize kendini bilgi vasıtasıyla sunuşuyla hikâye arasında analoji kuruyorsak, bir kart açıldığında o kartın artık değişemez olduğu gerçeğiyle yüzleşmek zorundayız. Her kartın belli bir hali (resmi) var ve bu hal farklı bir şekilde yorumlanabilse de, bir kez açıldıktan sonra bir daha değişemez. Örneğin kırmızı bir ejderhayı gösteren kart, hemen peşi sıra başka bir kart açıldığında ya da birisi tarafından gözlemlendiğinde, "sihirli bir şekilde" başka bir karta dönüşemez. Kitabın ikinci ana bölümünde gerçekliğe dair en iyi tanımımız olan kuantum teorisini tartışırken, kartların kendi aralarındaki ve kartlarla oyuncuların arasındaki bu etkileşimi sürecin dışında bırakacağız. Bu yaptığımız şey mantık dışı gibi görünse de, gerçeklik tanımımızı yaparken kritik bir önem taşıyacak.

Okuyucu kitaba bilgiye dair bulanık bir bakış açısıyla başlamış olabilir. Günlük dilde bilgi, sıklıkla irfan[10] sözcüğüyle anlamdaş kullanılır. Bir konu hakkında yeterince uzun süre, kapsamlıca ve dinleyenler bize ters düşmeden konuşabildiğimizde, o konuyu bildiğimize inanırız. Ancak her ne kadar bu "bilgili, irfanlı"[11] sözcüğünün genel anlamı olsa da, bir bilim insanının irfanlı olarak gördüğü şey bu değildir. Bilim insanına göre her türlü irfan daima geleceğe aittir. Bunun içindir ki tarihçiler bilim insanı değildir, çünkü tarihçiler geçmişle ilgili tahminler yaparlar. Oysa tüm bilim geleceğe dair kestirimlerle ilgilidir. Kuantum teorisinin büyük büyük babalarından bi-

10 Knowledge: 1. Deneyim ve eğitimle edinilen uzmanlık ve beceriler, bir konunun teorik ve pratik olarak kavranışı. 2. Bir olguyu ya da durumu deneyimleyerek edinilen farkındalık ya da aşinalık. 3. Özel bir bilgi alanında ya da tüm bilgi alanlarında bilinenler. Çevirenin notu: Yazar burada yukarıda tanımları verilen "knowledge" kelimesini kullanıyor. Ancak kitabın özünü oluşturan ve evreni kavrayışımızın temeli olarak konuştuğu bilgi sözcüğünü "information" olarak okumalıyız. "Knowledge" irfan kelimesiyle karşılandı.

11 İng: Knowledgeable.

risi olan Neils Bohr'un konuyla ilgili espriyle karışık bir yorumu: "Tahminler yürütmek zordur, özellikle de gelecek hakkında."

Geleceğe dair kestirimler daima riskler içerir. Gelecek doğası gereği belirsizdir ve gelecek hakkında yeterli bilgiye sahip değilizdir. Bu yüzden tahminlerde bulunmaya çalışırken devamlı olarak imgelem sıçramaları yapmamız gerekir. Calvino bu belirsizliği zaten açığa çıkardı, yani son kart da masaya açılmadan oyunun mesajından emin olamayız. Son kart hikâyeyi temelden değiştirebilir. Destede sonlu sayıda kart bulunan Calvino hikâyesinin aksine, doğa önümüze sonsuz sayıda kart açıyor. Bu yüzden de açılan yeni bir kartla yanlış bir ispata yürüdüğümüzü fark edebiliriz, ancak bilimin işleyişi açısından bu özsel riskin alınması da zorunludur.

Bir atom üzerine çalışan bir fizikçi atomun niteliklerini kâğıt kalem kullanarak ya da günümüzde daha yaygın olduğu üzere bilgisayar yardımıyla tasarlar. Sonra laboratuvara gider ve ölçümler yapar (bugünlerde tasarımı yapanlarla ölçümleri yapanlar genelde farklı ama elbette bu bir zorunluluk değil). Sözün kısası fizikçi ölçümleri teorisiyle karşılaştırır ve sonuçlar tutarlıysa fenomeni kavrayışı konusunda tatmin olur. Deneyin teoriyle çeliştiği görülürse ve kritik deneysel hatalar da bulunmuyorsa teorinin (mesela doğanın iletmeye çalıştığı mesaja dair yorumumuz) değiştirilmesi gerekir. 400 yıl gibi kısacık bir süre zarfında doğanın farklı yönlerini anlamaya çalışırken yardımımıza koşan temel bilimsel yöntem budur. Aynı zamanda modern uygarlığın köşe taşı niteliklerden biri olarak da düşünülebilir.

Şimdiye kadar evrende neden bilgi var ve bu bilgi doğa aracılığıyla bizimle nasıl iletişime geçiyor gibi sorulara yönlenmiş olsak da, bu kitabın nihai amacı bilginin gözlemleyebildiğimiz gerçekliği nasıl tanımladığını açıklamak. Bunu ya-

parken Roger Bacon'un "analiz ve sentez" görüşlerinin izinden yürüyüp, gerçekliği oluşturan temel sütunları birer birer analiz edecek ve sonrasında bütüncül bir resim halinde sentezleyeceğiz.

Gerçekliğimizin temel sütunlarının her biri (Calvino'nun oyuncuları), bilgiyi bütünleştirip somutlaştırarak iletmeleri bağlamında analiz edilecekler. Bu sütunların her birinden bir mesaj iletirken kendi bilgi-merkezcil yöntemimi kullanıyor olsam da, mesajlar bilimsel toplulukta son derece yerleşiktir. Okuyucu gerçekliğin kodlarının çözülmesine dair nihai bakış açımı onaylamayabilir ancak kendi içlerinde ayrı ayrı değerli olan gerçeklik temellerini incelerken yürüdüğümüz yoldan zevk alacağını umuyorum.

Gerçekliğin temelini oluşturan sütunlar aşağıdakiler olacak:

- **Bölüm 4- Birinci Oyuncu:** Biyoloji. Bilginin başlıca uygulayıcısı biyoloji olacak. Biyoloji, tamamen bilginin korunumu ve aktarımı dilini kullanarak gelişim gösteren genetikle iş görüyor. Genetik olgusunda bilginin anlaşılması en kolay ve açık tanımıyla karşılaşıyoruz. Biyolojik bilgi kalıcı olduğu oranda revaçtadır ancak temel ilkeler her zaman evrenseldir. Yeni bir çerçeve sunmak adına doğru dürüst bir iş çıkarmak için bu ilkeleri kullanabiliriz.
- **Bölüm 5- İkinci Oyuncu:** Termodinamik. Fizik ve bilginin uzun soluklu bir ilişkisi var ve ben bu ilişkiyi termodinamiğin adı kötüye çıkmış ikinci yasasını açıklarken kullanıyorum. Yasa, evren kaos içerisinde dağılmaya eğilimlidir, der. Bu durumun bilgi bağlamında nasıl anlaşıldığını ve bilginin biyolojik korunuşuyla neden çelişmediğini açıklıyorum. Bu bölümde bilgiyi küresel ısınma meselesiyle ilgili farklı kavrayışlar sunmak için kulla-

nıyor ve diyet planlarınıza yönelik yeni bir bakış açısı sunuyorum.

- **Bölüm 6- Üçüncü Oyuncu:** Ekonomi. Biyoloji ve fiziğin tümden bilgiyle ilgili olduğuna sizi ikna ettikten sonra, sıra insan davranışının da aynı bilgi-teorik ilkelere dayandığını konuşmaya geliyor. Bu temel ilkeleri izlediğimizde, bilhassa kumarhane ya da borsa gibi rastlantısal bahis süreçlerinde kârınız maksimize olabiliyor. Burada bilgi yasalarını kullanarak başarılı bir yatırım yapmanın yoluna bakacağız.
- **Bölüm 7- Dördüncü Oyuncu:** Sosyoloji. Şehirlerin dağılımı, vatandaşların refahı ve sosyal düzen gibi karmaşık sosyal yapılara da bilgi teorisyeninin penceresinden bakılabilir. Bu kısım bir dizi başka fenomeni bir ve aynı mantıkla bütünlüyor ve kitabın ilk ana bölümünü sonuçlandırıyor. Bölüm 7'de sosyal saygınlığınızı nasıl artırabileceğinizi ve en fanatik yabancı düşmanı grubun kendi içinde bile ırk ayrımının oluşma potansiyelini tartışacağım.
- **Bölüm 8- Beşinci Oyuncu:** Kuantum Fiziği. Kitabın ikinci ana bölümünde gerçek dünyadaki bilginin ilk bakışta belirene göre çok daha farklı olduğunu anlatıyorum. Bilgiyi hâlâ bitler ya da ikili sayılar yoluyla niceliyor[12] olsak da, aslında düşünebileceğimizden çok daha güçlü olduğunu bilmeliyiz. İşte bu yüzden dünya nihayetinde bütünüyle kuantum mekanikseldir. Bu bölüm bazı acayip ve son derece radikal nitelikleri olan kuantum bilgisinin temellerini açıklıyor. CIA'in bile hiçbir şekilde dinleme ve izleme şansı bulamadığı müthiş güvenli iletişimi nasıl kuracağınızı görmeye hazır olun.

12 Nicelemek: Bir şeyi sayı, ölçü vb. ile bildirmek.

- **Bölüm 9- Altıncı Oyuncu:** Bilgisayar Bilimi. Kuantum teorisi temelli bu yeni tür bilgi PC'lerimizle uğraşıp didindiğimiz her şeyi daha hızlı hesaplamak için kullanılabilir. Bir kuantum bilgisayarı banka hesabınızı birkaç saniye içinde boşaltabilir. Ve biyolojik sistemler bazı kuantum hesaplarını halihazırda yapıyorlar. Ayrıntılar geliyor.
- **Bölüm 10- Yedinci Oyuncu:** Felsefe. Bu bölümde tartışacağım üzere evren özünde kuantum bilgisine sahipse, şu bin asırlık probleme, özgür iradeye karşı determinizm problemine de yeniden bir bakmamız gerekecek. Kendi isteğimizle mi davranırız yoksa tüm eylemlerimiz önceden belirli midir? Bu bölümde rastlantısallığın determinizmle karşıt olmadığı konusunda sizi ikna etmeyi deniyorum. Evrende birini ya da bir şeyi telekinezi yoluyla bir yerden başka bir yere ışınlarken (teleport) rastlantısallık ve determinizmin nasıl el ele verip iş gördüklerini gösteren bir örnek de sunuyorum.

Bazı muhafazakârlar doğada yalnızca tek bir oyuncu bulunduğunu ve bu oyuncunun fiziğin kendisi olduğunu iddia edebilirler. Diğer oyuncuların ellerindeki kartlar fiziğin açığa çıkardığı kartların izinden yürür görüşünü savunabilirler. Bense bu kitapta oyunun en temel bölümünü kartların oluşturduğunu iddia ediyorum. Kartların ilettiği mesajlarda bazı tekrarlar olabilse de (örneğin ekonominin insan doğasıyla ilgili ortaya çıkardığı bir durum biyoloji tarafından çoktan sahiplenilmişse de) tüm oyuncuların eşit şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Analizimizi tamamlar tamamlamaz Bölüm 11 ve 12'de mesajların sentezine geçiyoruz. Sentezin sonucunda bilgi bitleri yoluyla kodlanan bir gerçekliğe kavuşuyoruz. Burada ev-

ren mümkün olan en kapsamlı bilgisayar oyunuyla gerçekliğimizi doğuran büyük bir kuantum bilgisayarı olarak karşımıza çıkıyor. Yazılımcıları Calvino'nun kart oyunundaki oyuncular ve yazılımları oyunu oynarken öğrendikleri her şeyi özetliyor. Aynı mantığı kullanarak, herhangi bir nesnenin, hatta insan beyninin içindeki bilgi miktarını bile hesaplayabiliyoruz.

Bunlara ek olarak kitabın üçüncü ana bölümünde, bilginin her şeye dair nihai bir teorinin temelini teşkil eden yegâne mevcudiyet olduğunu da görüyoruz. Bilgi, yerçekimini kuantum teorisinin saf bir sonucu olarak kavrayabileceğimiz bir yapı sunduğu gibi (kuantum teoriyi ve yerçekimini entegre etmek modern fiziğin en önemli mücadelesidir), "yasasız yasa" konusuna da açıklık getirerek *creatio ex nihilo* probleminden paçayı sıyırmamızı sağlıyor.

Son kısımlarda bazı spekülatif ya da bilimsel çevrelerde halen tartışılan konularla karşılaşacaksınız, ben de zaten bu noktalarda okuyucuyu uyaracağım. Ancak bu bakış açılarının bazılarının değillendiği de olacak. Umarım okuyucu bu entelektüel yolculuktan hoşlanır. Burada ünlü 11. yüzyıl Fars şairi ve gökbilimcisi Ömer Hayyam'ın bir dörtlüğüyle sözlerimi bitiriyorum.

Ne bilginler geldi, neler buldular,
Mumlar gibi dünyaya ışık saldılar,
Hangisi yarıp geçti karanlığı,
Birer masal söyleyip uykuya daldılar.

Anahtar Noktalar

- Calvino'nun kart oyunu gerçekliği gözlemleyip anlama yolunda bize etkili bir metafor sunar.
- Doğa mesajlarını aktarırken kullandığı bilgi dilini kullanıyor ve bu bilgi ayrık birimlerle alınır. Bu birimleri gerçekliğimizi inşa ederken kullanırız.
- Calvino'nun kart oyunundaki esas oyuncular doğanın farklı yönlerini temsil ederler. Ben bu oyuncuları biyoloji, termodinamik, ekonomi, sosyoloji, kuantum fiziği, bilgisayar bilimi ve felsefe olarak seçtim.
- Bölümler ilerledikçe oyunculardan gelen temel mesajlar, bilgi-merkezli olarak analiz edilecek.
- Tek tek oyunculardan gelen temel mesajların sentezi, gerçekliği nasıl var ettiğimiz ya da kodladığımızla ilgili bakış açısı sunacak.

BİRİNCİ BÖLÜM

3

Öze Dönüş: İkili Sayılar ve Parçacıklar

Günümüzde etrafımızı saran bilgi kavramından kaçış yok gibi görünüyor. Dünyayı algılama biçimimizde öylesine köklü değişiklikler meydana getirdi ki artık bilgi çağında yaşadığımızdan haberi olmayan birisinin 30 yıldır dünyada yaşayıp yaşamadığını sorgulayabiliriz. Yaşadığımız bilgi çağında artık buhar makineleriyle ya da lokomotiflerle boğuşmuyor, bilgiyi işleme becerilerimizi kavramaya ve geliştirmeye çalışıyoruz. Yani ilgi alanımızda daha hızlı çalışan bilgisayarlar, devasa uzaklıklardaki yerlerle etkili iletişim kurabilme yolları, daha dengeli finans piyasaları ve daha verimli toplumlar geliştirmek var. Ancak bilgi çağının yalnızca teknoloji merkezli olduğunu düşünmek gibi yanlış bir genel kanı hüküm sürüyor. En başından konuya açıklık getireyim. Bilgi çağı demek yalnızca teknolojiyle ilgili olan bir şey demek değildir! Bilgi çağı esasen evrenin bize sunduğu tüm süreçleri –fiziksel, biyolojik, sosyolojik ya da başka hiçbir süreç bilgi çağının dışında kalamaz– yaşamak ve daha iyi kavramakla ilgilidir.

İnsanların çoğunluğu bilgi çağında yaşadığımızı kabul etse de, bilgi kavramının hâlâ tam olarak anlaşılamıyor olması tuhaftır. Sebebi incelemek için bilgi çağını önceleyen çağa, yani endüstri çağına şöyle bir bakmak gerekecek. On sekizinci yüzyılın başlarında Kuzey İngiltere'de doğduğunu söyleyebileceğimiz endüstri çağının temel kavramları iş ve ısıydı. İnsanlar için bu kavramlar ve uygulanma alanları, bilgi çağında bilginin oynadığı aynı rolden daha kolay anlaşılabiliyordu. Endüstri çağında işin ve ısının işe yarar bir şekilde kullanımı makineleşmeyle, dönem mühendisliğiyle, inşa edilen binalarla, gemilerle, trenlerle vb. kendini gösterdi. Parmağınızı uzatıp, "İşte bu sanayi çağının işaretidir" demeniz kolaydı. Örneğin Leeds kentinde, Holbeck diye adlandırılan bölgedeki Foundry Street'de rutin yürüyüşlerimi yaparken sanayi devriminin izleri oldukça net görebiliyordum. John Marshall'ın Temple Mills yapıları ve Matthew Murray'ın Round Foundry'si özellikle etkileyicidir. Bu büyük heybetli yapılar sefil koşullarda çalışan yüzlerce işçiye saygı ve minnet duymamızı ister gibidir. Saatin etrafıysa ülkenin yiyecek ve giyecek sıkıntısı çekmeden her daim geçim içinde olacağının ve sorunsuz yolculuklar yapılacağının garantisini verir. Murray tipik bir on sekizinci yüzyıl girişimci sanayicisiydi. Lokomotifler, buhar makineleri, tekstil makineleri ve tamamı ısı enerjisiyle iş gören başka bazı makineler üreterek bir servet yaptı.

Isı formundaki enerjiyi mümkün olan en faydalı işin üretimi için kullanma süreci basit ve anlaşılabilirdir. Buhar (ısı) üretecek bir makinenin içine taşkömürünü doldurarak trenin tekerleklerini döndürmek (iş), başından sonuna kadar kolaylıkla kavranabilecek bir süreçtir. Peki neden benzer şeyleri bilgi çağı için söyleyemiyoruz? Bana göre bilgi kavramı hem daha geniş çapta uygulama alanı buluyor hem de iş ya da ısıya göre daha kolay anlaşılabiliyor. Öyleyse bu kafa karışıklı-

ğının sebebi ne? Cevabı şu an veremiyorum ama kitabın sonunda, eğer işimi düzgünce yapabilirsem, bilginin rolünü çeşitli biçimleriyle tanımlamak Murray'in iş ya da ısıyı tanımlaması kadar kolay gelecek, bana güvenin. Sürpriz bonus olarak da, bilginin ısı ve işe göre çok daha temel olduğunu ve daha geniş kapsamda uygulanabileceğini de göreceksiniz.

Öyleyse bilgi derken tam olarak ne demek istiyoruz? Bilgi kavramının anlaşılması zor olmasa da, sözcük olarak içinde kullanıldığı bağlamlar düşünüldüğünde bazen kafa karışıklığına yol açıyor. Bilgiyle ilgili yeterli materyale erişilememesiyse işleri daha da kötüleştiriyor. Son zamanlarda sağanak şeklinde yağan bir dolu kitap var ancak bunların çoğu fazlasıyla teknik ve ilmi yaklaşımları okuyucuya hitap etmiyor. Birkaç defa "bilimsel-iletişim" inisiyatifi almış olsam da, bilgiye dair işe yarar bir başlangıç yapmam istendiğinde önerilerimin bir şekilde sınırlı olması beni hayal kırıklığına da uğratıyor. Neyse ki tam on beş yıldır kendine (ve farkında olmadan karşılaştığı insanlara da) bilgiyi açıklamaya çalışan bir kişi olarak, bu mücadelede pas diyeceğime, gece yarılarına kadar oturup çalışmanın daha iyi bir yol olacağına karar verdim.

Bilgi kavramının daha zor anlaşılmasının iki ana sebebi vardır. Öncelikle, bilgiyi çok çeşitli yollarla tanımlayabiliyor oluşumuz bir sorun yaratıyor. Bilgiyi faydalı bir şeyler yaparken kullanabileceğimiz bir nicelik olarak mı tanımlayacağız, yoksa işimize hiç yaramıyor olsa da ona bilgi mi diyeceğiz? Bilgi objektif midir yoksa sübjektif mi? Örneğin aynı mesaj ya da haber parçası iki farklı insan için aynı bilgiyi mi taşır? Bilgi kendi doğasında insani bir şey midir, yoksa hayvanlar da bilgiyi işleme süreci yürütüyorlar mı? Üzerinde uzlaşılmış ve kabul görmüş bir bilgi tanımına ulaşma mücadelesi içindeyken sorulan bu sorular olaya hem renk hem de enerji katıyor.

Bilgiyle ilgili ikinci bir zorluk da şudur. Bilgi kesin olarak tanımlandığında öyle bir yöntemle ölçülmüş oluyor ki matematik olmaksızın aktarımını yapmak kolay olmuyor. Gerçekten de bilim insanları bile yeni bir denkleme ayak direyebilmektedirler. Sonuç olarak bilirkişiler de, bilirkişi olmayanlar da, bilgi kavramını ayrıntılı ve kesin bir yolla popülerleştirmekten uzak duruyorlar. Stephen Hawking bile çok satan kitabı *Zamanın Kısa Tarihi*'ni yazarken, kullandığı her denklemin satışları yarıya düşürebileceği konusunda editörü tarafından nazikçe uyarıldı.

Bütün bu mücadeleler içerisinde dahi bilginin üzerinde uzlaşılan ve açıkça anlaşılan bir tanımı yapılabilmektedir. Dahası bu tanım objektif, tutarlı ve geniş kapsamlı kullanılabilirdir. Şimdi tüm gereksiz detayları bir yana bırakalım ve bilginin anlamsal özünü birkaç sayfa içinde biçimlendirelim.

Modern bilgi kavramımızın kökenini Antik Yunan'da bulmamız hiç de şaşırtıcı gelmiyor. Antik Yunanlılar, herhangi bir olayın bilgi içeriğinin bağlı olduğu tek şeyin, o olayın olma olasılığı olduğunu öne sürdüklerinde bilginin tanımının zeminini de hazırlamış oldular. Aristoteles gibi bazı filozoflar bir olay bizi ne kadar şaşırtırsa, olayın o denli bilgi taşıdığını ileri sürdüler. Bu mantığa göre İngiltere'de açık ve güneşli bir sonbahar günü oldukça şaşırtıcı olurdu, oysa bu sonbahar ayında ara ara çiseleyen yağmur muhtemelen kimseyi şoka uğratmazdı. Buradan daha az olası, yani oluşma olasılığı çok küçük olan olayların bizi daha fazla şaşırtan ve sonuç olarak daha çok bilgi taşıyan olaylar olduğunu çıkarabiliriz.

Bu mantığı izlediğimizdeyse bilginin olasılıkla ters orantılı olmak zorunda olduğu sonucuna varabiliriz, yani daha az olasılıklı olaylar daha fazla bilgi taşırlar. Bu yolla bilgi olasılıklara indirgenmiş olur. Böylece olasılıklara insan yorumundan ya da başka şeylerden bağımsız olarak objektif anlam yükle-

nebilir (yani İngiltere'de fazlasıyla yağmur yağması olgusundan hoşlanmasanız da, bunun olma olasılığını değiştiremezsiniz.)

Bilginin bir başka önemli niteliği daha var ve objektiviteyle birlikte bizi bilginin modern ölçümüne götürüyor. Bilgiye birbirini takip eden fakat birbirinden bağımsız iki olay dahilinde baktığımızı varsayalım. Örneğin bu gece dışarı çıkma olasılığımla ilgili belli bir oran var ve diyelim ki %70. Yine %60'lık bir oran da cep telefonuma bir çağrı alacağımı varsayıyor (bu durum evde ya da dışarıda olmamdan bağımsız gelişebilir). Buna göre dışarı çıkma *ve* dışarıdayken cep telefonuma bir çağrı gelmesi olasılığı nedir? Bu durumun gerçekleşmesi için her iki olay da olmak zorunda olduğuna göre, durumun olma olasılığı iki olasılığın sonucudur. Bu sonuç da %42'dir (100'e bölünen 70, 100'e bölünen 60'la çarpılır).

Peki bu birbirinden bağımsız iki olaydaki bilgi miktarı hakkında ne diyeceğiz? Eğer bir olayın ve ardından diğer olayın birbirinden bağımsız gerçekleşmesiyle ilgili kafa karışıklığı varsa, son kertedeki şaşkınlığınız yalnızca yeni gerçekleşen (%42) olayın olasılığına bağlı olarak artacak. Yani bağımsız olaylar oldukları düşünülen ilk iki olaydaki total bilgi, iki ayrık bilgi miktarının toplamı olmalı ve bilginin formülü bir fonksiyonla ifade edilmelidir. Yani iki olasılığın sonucunun bilgisi tekil olaylarda kapsanan bilginin toplamını vermelidir. Hâlâ orda mısınız? İnanın açıklamayı başaracağım. Söz konusu fonksiyondan yalnızca bir tane var ve gerçekten de bütün işimizi görüyor. Bu fonksiyon logaritmadır (log).

İskoç matematikçi John Napier tarafından icat edilen logaritmalar uzun çoğaltmaları basitleştirmekte inanılmaz faydalar sağladı. Meşhur on sekizinci yüzyıl matematikçisi Pierre Simon de Laplace logaritmalarla ilgili yorumu şu: "...iş gücünü azaltarak, gökbilimcinin hayatını uzattılar." O günlerde as-

tronomlar gezegenlerin yörüngelerini ve diğer konuları kâğıt kalemle hesaplamak durumundaydılar ve sonuçta işlemlerle dolu bir tomar kâğıt ortada dolaşıyordu. Elbette bugün hesap makineleri ve bilgisayarlarla çoğaltım yapmak daha kolay ancak bu durum bir paradoks yaratarak logaritmaların hem gözden düşmelerine hem de korkutucu olmalarına da sebep oldu.

Öyleyse özetleyelim ve bilginin modern tanımını verelim: Bir olayın bilgi içeriği, olayın oluşumunun ters olasılığının logaritmasına oranlıdır.

$$I = \log \frac{1}{p}$$

Bu tanımlama muazzam kuvvetli çünkü bilgi hakkında konuşabilmek için bize yalnızca iki şart koşuyor. İlk şart olayların varlığı (ortada bir olay olması), diğeri de olayların olma olasılığını hesaplayabilmemiz. Bu asgari gerekliliği etrafımızdaki hemen her şeyde fark edebiliyoruz. Örneğin biyolojide bir olay, çevre tarafından harekete geçirilen (stimüle edilen) genetik bir modifikasyon olabilir. Ekonomide bir olay, ortak değerdeki düşüşü temsil edebilir. Kuantum fiziğinde bir olay, bir lazer çalıştırıldığı andaki ışık emisyonu olabilir. Bilgi teorisi her türlü olaya uygulanabilir. İşte bu yüzden doğada gördüğümüz her sürecin altında bilginin yattığını iddia ediyorum.

Şimdi oldukça yalın olduğunu kabul ettiğimiz bir bilgi tanımımız olduğuna göre gerçek dünyanın problemlerini çözme yolunda bilginin en erken dönem uygulamalarından birine göz atabiliriz. Hikâye 1940'larda, dünyaca ünlü Bell laboratuvarlarında çalışan Amerikalı mühendis Claude Shannon'la başlıyor.

Bell laboratuvarları Shannon'dan daha önce de mükemmellikler merkezi olarak nam salmıştı. Bu tesisler 1900'lerin ortalarında altın günlerini yaşadılar ve aldıkları diğer ödülle-

rin yanı sıra altı adet Nobel ödülü de güçlerini pekiştirdi. Ödüller bilim, mühendislik ve bir dizi devrimsel teknolojilerin geliştirilmesi (düşünün: radyo astronomisi, transistor, lazer, UNIX işletim sistemi ve C programlama dili) çalışmalarını taçlandırıyordu.

Seçkin mucit Alexander Graham Bell'in adını alan Bell laboratuvarlarının başlıca övünç kaynağının telefon komünikasyonu olması bizi pek de şaşırtmıyor. Shannon iletişim alanında çalışıyor ve iletişiminin nasıl daha da güvenli hale getirileceği üzerine kafa yoruyordu. Şöyle ki, "Alice" "Bob'a" telefon açtığında yetkili olmayan kişilerin telefon konuşmasını engelleyemeyeceğini ya da dinleyemeyeceğini bilir ve bu konuda Shannon gibi insanlara güvenir. Amerika'nın II. Dünya Savaşı'na girmeye hazırlandığı ve gizliliğin olağanüstü önemli olduğu düşünüldüğünde bu güvenin gerekliliği hakikaten de anlaşılabiliyor. Shannon birkaç ay süren çalışmalarından sonra, izinsiz dinleme karşısında her türlü iletişimin tamamen güvenli olabileceğini garantileyen bazı sonuçlara varmayı başardı. (Shannon'un kriptografi teorisi modern bilgi güvenliğinin temelini biçimlendirir –ATM'den her para çekişinizde ya da internet yoluyla para işlerinizi hallederken ona bir teşekkür borçlusunuz.)

Bu gelişme sonrasında Shannon insanların birbirleriyle tek bir fiziksel sistem aracılığıyla (bir telefon ağı gibi) ne kadar süre iletişim kurabilecekleriyle ilgilenmeye başladı. Bir kabloyla tek telefon araması yapmak yerine iki, üç hatta daha da fazla arama yapabiliriz diye düşünüyordu. Bu elbette bütünüyle akademik bir meşguliyet de değildi. Dünyanın en büyük şirket ortaklıklarından biriyle çalışıyorsanız, mevcut çalışmalarınız yoluyla daha fazla kâr elde etmenizi sağlayacak her şey kariyeriniz için de iyi olacaktır. Yani Shannon konuyu daha da derinlemesine irdeleyerek bir şekilde daha ön-

ce değindiğimiz bilgi tanımlamasını da (bilginin, olayın olma olasılığının logaritmasına oranlı olduğu) çıkarsamış oldu. Bulgularını 1948 yılında bir bilimsel makalede özetleyince neredeyse çığır açtı. Makalesi modern bilgi teorisi dalının doğuşuna yol açarak telekomünikasyonun çehresini de sonsuza kadar değiştirdi. Geliştirdiği teori Shannon bilgi teorisi adıyla bilim tarihine değişmez harflerle yazıldı.

Shannon haberleşme kanalında Alice ve Bob olarak iki kullanıcı tasarımlamıştı ve bu iki kişi (Alice ve Bob) arasındaki bilgi değiş tokuşunu analiz edebilmek için mümkün olduğunca objektif olmak durumunda olduğunun da farkındaydı. Alice'in Bob'a "seni seviyorum" ya da "senden nefret ediyorum" demesiyle ilgilenmiyordu çünkü onun bakış açısına göre bu iki mesaj tamamen aynı uzunluktaydı ve eninde sonunda Bell laboratuvarlarına aynı parayı kazandıracaktı. Daha önce de söylediğimiz gibi insan duygulanımları mesajın objektif bir niteliği değildir, bu yüzden Shannon duyguları bir kenara bıraktı. Aslında insanların konuştuğu tüm diller duygulanım içeriyordu, bu yüzden Shannon hepsini ıskartaya çıkardı. Alice ve Bob'un İngilizce, İspanyolca ya da Swahili dili konuşmaları Bell laboratuvarlarının işine yaramazdı. Diğer bir söyleyişle bilginin miktarı onu ifade etme yolumuza bağlı olmamalıdır ve bilgi miktarını daha temel bir simgeyle temsil etmemiz şarttır. Shannon aradığı bu temel simgenin bir yüzyıl önce George Boole adındaki bir ilkokul İngilizce öğretmeni tarafından halihazırda geliştirilmiş olduğunu keşfetti.

Boole 1854 yılında yayımlanan Düşüncenin Yasaları adındaki büyük teorisi üzerine çalışırken tüm insan düşüncesini sıfırların ve birlerin manipülasyonuna indirgiyordu. Boole'un kitabı şu şekilde başlıyor: "Aşağıdaki tezin amacı zihin işlemlerine ve dolayısıyla akıl yürütmeye dair temel yasaları

araştırmak; bu yasaları sembolik Calculus[13] dili yoluyla ifade etmek ve bu temellendirme üzerine mantık bilimini inşa edip yöntemini yapılandırmaktır." Boole her türlü cebirsel manipülasyonun da sadece sayıları, sıfırları ve birleri kullanarak yapılabileceğini gösterdi. Sıfır ya da bir olan bir sayı ikili sayı ya da kısaca "bit" olarak adlandırılıyordu ve Shannon bilgi teorisini geliştirmek için bu bit kavramını kullandı.

Antrparantez olarak belirteyim; sıfırın yokluğu Antik Yunanlıların bütünlüklü bir bilgi teorisi geliştirmelerini kısıtlayan şeylerden biridir. Antik Yunan'da sıfır yoktu, çünkü onlara göre "hiçlik" sayıyla etiketlenmeyi hak etmiyordu. Aslında sıfır İsa'nın doğumundan kısa bir süre önce Hintliler tarafından icat edildi ve Hintliler ortaçağda bu bilgiyi Acemlere ve Araplara naklettiler. Daha sonra bu bilgi Avrupalılara taşındı. Sıfır sayısıyla zırhlanan ve Antik Yunan'dan da bazı hünerler kapan Avrupalıların artık o hantal Roma rakamlarından daha esnek bir sayı sistemleri vardı. Bu sayı sistemi, bizi günümüze taşıyan Rönesans sürecine öncülük eden bilim ve matematik süreçlerini de önceledi. Sıfır sayısının hikâyesi gerçekten de adına yaraşır başka bir kitabın yazılmasını hak eder.

Şimdi biz Shannon'un Alice ve Bob arasındaki iletişimi optimize etme görevine dönelim. Boole'un evrensel alfabesiyle silahlanan Alice "seni seviyorum" mesajını "1" ile ve "senden nefret ediyorum" mesajını "0" ile kodlayabiliyordu. Şimdi geriye yalnızca Alice'in "0"la ve "1"le göndereceği mesajın olasılığını bilmek kalıyor. Diğer bir söyleyişle, Alice'in Bob'u sevme olasılığı nedir, Alice'in Bob'u sevmeme olasılığı nedir?

Varsayalım ki Bob, Alice'in kendisinden nefret ettiğini gösteren "0" mesajını göndereceğinden %90 gibi bayağı yüksek bir olasılıkla emin. Şimdi de ahizeyi kaldırdığını ve haberleş-

13 Değişkenler hesabı.

me kanalı yoluyla "1" mesajını aldığını düşünelim. Bu duruma %10 gibi oldukça düşük bir olasılık verdiğini düşündüğümüzde, Bob oldukça şaşırırdı ve bu mesaj daha fazla bilgi taşırdı. (Elbette Alice ve Bob gerçekte sıfırlar ve birlerle konuşmuyorlar. Alice "seni seviyorum" ya da "senden nefret ediyorum" diyor ve telefon hattının her iki ucundaki cihaz bu bilgiyi bitlerle kodlayıp, ardından da bu bitlerin kodunu "seni seviyorum" ya da "senden nefret ediyorum" şeklindeki iki orijinal mesajdan biri halinde çözüyor.)

Bu çerçevenin kapsamı, "Londra'da Trafalgar Meydanı'ndaki Nelson Sütunu'nun önünde buluşalım" gibi daha karmaşık mesajları birleştirmek için kolaylıkla genişletilebilir. Yukarıdaki mesaj 00110010101000 şeklindeki bitler serisi halinde kodlanabilir. Şüphesiz ki mümkün olduğu kadar az sayıda sıfır ve bir kullanmak istemekteyiz, böylece telefon hattının kullanımı daha randımanlı olur (yani kanal boyunca daha fazla mesaj yığabilir ve gönderebiliriz). Shannon daha az olası mesajların daha uzun serilerle ve daha olası mesajların daha kısa serilerle kodlanmak durumunda olduğu çıkarımını yaptı ve genel ilke olarak belirledi. Çıkarımın ardındaki mantık şudur: Sıklıkla iletiştiğimiz mesajlar, daha kısa olmalıdır yoksa telefon hattı kapasitesini gereksiz yere israf etmiş oluruz. Son derece anlaşılır değil mi?

Lisanı da bir iletişim kanalı olarak görürsek, bu kanal doğal olarak daha optimum bir düzeye evrilmektedir. "*The*", "*of*", "*to*" gibi en çok kullanılan İngilizce kelimeler kısadır çünkü oluşma olasılıkları daha yüksektir. Aksine daha az kullandığımız sözcükler, oluşma olasılıkları daha az olduğu için daha uzun kalırlar. Bu bağlamda en çok kullanılan sözcüklerin ve sözcük gruplarının kaç harften oluştuğunu düşündüğümüzde, İngiliz dilinin Almancaya, İngilizceye ya da Swahili diline göre neden daha etkin olduğunu anlayabiliriz. İlginçtir,

dil üzerine başka analizler yapan George Zipf 1949 yılında benzer bir argümanla çıkageldi. Herhangi bir sözcüğün tekrarının, o sözcüğün sıklık tablosundaki dizimine ters oranlı olduğunu bulmuştu. Nitekim en sık görülen sözcük, en sık görülen ikinci sözcüğe göre yaklaşık iki kat daha sık kullanılacak demektir. Ki bu da dördüncü sık görülen sözcüğün dört kat daha sık kullanılacağını gösterir ve bu oranla devam eder.

Shannon da kanal kapasitesini (ve tabii Bell laboratuvarlarının kârını) benzer şekilde maksimize eden optimal kodlamaya giden yolun, mesajın uzunluğunu "olayın oluşma olasılığının ters logaritmasına" oranlamaktan geçtiği sonucunu çıkardı. Yani üzerine konuştuğumuz aynı bilgi ölçümü yöntemi, herhangi bir iletişim kanalının optimal kanal kapasitesini nicelerken karşımızda çıkıyor.

Çeşitli disiplinler muazzam sayıda çalışmalar yaparak Shannon teorisini doğrudan ya da dolaylı olarak açımladılar. Bendeniz de Shannon bilgi teorisinin kuantum mekaniğine uygulanabileceğini savlayan doktora tezimle 1990'larda bandoya katıldım. Tezimde Shannon bilgi teorisinin temel ilkelerinin varlığını sürdürdüğünü ve son fizik modellememizde bize çok şey sunabileceğini gösterdim. Kitabın ikinci ana bölümünde bu konuda daha fazla ayrıntı bulacaksınız.

Tezim bittiği zaman dostlarım ve iş arkadaşlarım hatıra olarak Shannon'un bir fotoğrafını çerçeveletip verdiler. Shannon'un çalışmasının beni ne denli etkilediğini biliyorlardı ve arkasına imzalarını attıkları bu resmin tam da uygun hediye olduğunu düşünmüşlerdi. Onlardan çok Shannon'la zaman geçirdiğim düşünülürse haklıydılar da. Fotoğrafta dünyayı daha iyi bir yer haline getirmek ve yine kendi ilim ve irfan açlığını gidermek için bilim yapan çok düşünceli ve özel bir bilim adamı vardı. Gerçekten hoş ve düşünceli bir hediyeydi.

Bu bölümü eğlenceli bir hikâyeyle kapatmak istiyorum.

Shannon nicelemesini bilgi olarak tanımlamadı; ona *entropi* dedi. Şu ana kadar Shannon bilgisi olarak tanımladığımız şey aslında mühendisler, matematikçiler, bilgisayar uzmanları ve fizikçiler arasında Shannon entropisi olarak bilinir.

Entropi sözcüğü Shannon "ters olasılığın logaritması" sonucunu çıkardığı zaman ortaya çıktı. Shannon Macaristan doğumlu Amerikalı büyük matematikçi John Neumann'a danışıp yeni icat ettiği nicelemesini nasıl adlandıracağını sordu ve von Neumann "entropi" sözcüğünü önerdi. Bir şehir efsanesine göre von Neumann bu sözcüğü bilimsel tartışmalarda Shannon'a bir üstünlük sağlaması için önermişti, çünkü o güne kadar hiç kimse entropi diye bir sözcüğü duymuş değildi! Von Neumann nüktedan yaklaşımlarıyla bilindiği için şehir efsanesine inanmak çok da zor değil. Fakat gerçek sebep şu ki Shannon'un çıkarımı fizikte zaten entropi adıyla biliniyor. Alman fizikçi Rudolf Clausius entropi kavramını Shannon'dan birkaç yüzyıl önce geliştirmişti.

Fiziksel entropinin ilk bakışta iletişim ve kanal kapasitesiyle hiçbir bağlantısı yoktur ancak ikisinin de aynı forma sahip olmaları kesinlikle bir tesadüf değil. Bu biçim benzerliği termodinamiğin ikinci yasasını tartışırken kilit noktamız olacak; ekonomik ve sosyal fenomenler konusunda yeni kavrayışlar kazandıracak.

Özetleyecek olursak, kanal kapasitesini optimize eden ve bilgi teorisini türeten Shannon kendisinden önceki bir sürü devin omuzları üzerinde yükseldi (Newton'un ünlü sözlerini[14] ödünç alarak). Bu devler Antik Yunanlılar, George Boole, John Napier ve John von Neumann'dı. İlim ve irfan dünyasında yalnız kovboylar yoktur, bilim insanları Clint Eastwo-

14 If I have seen the further, it is by standing on the shoulders of the giants: Daha ileriyi görebildiysem, devlerin omuzları üzerinde durduğumdandır-Isaac Newton.

od gibi takılamazlar. Ancak bu yine de Shannon'un anıtsal başarısının değerini düşürmüyor. Shannon pek çok farklı fikri bir araya getirip, zekâyı, farkındalığı ve harekete geçme dürtüsünü göstermek suretiyle yirminci yüzyılın en büyük keşiflerinden birini ortaya çıkarmıştır.

Anahtar Noktalar

- Bilgi temeldir ve ona objektif bir anlam verilebilir.
- İş ve ısı bahsinin aksine, bilgi çağında yaşadığımız problemler, doğrudan bilgiyi optimize etmekle ilgilidir.
- Bilginin temel birimi *bittir,* yani değeri sıfır ya da bir olan sayıdır.
- Bilgi bir şeyin ne kadar şaşırtıcı olduğunun ölçümüdür. Olmazmış gibi gelse de, düşük olasılıklı olaylar daha yüksek derecede bilgi içerir. Aynı şekilde, yüksek olasılıklı olaylar da çok az bilgi içerir.
- İki taraf etkin bir şekilde iletişim kurmak istiyorsa, birbirlerine ilettiği mesajlar Shannon'un komutuna göre düzenlenmelidir: Yani daha az olasılıklı mesajlar daha fazla sıfır ve birle kodlanmalı; daha sık tekrarlanan olası mesajlarsa daha kısa kodlanmalıdır.

4

Dijital Aşk Hikâyesi: Yaşam Beş Harfli Bir Kelimedir

Lennon ve McCartney şu tarih kadar eski deyişin adını alan şarkıları "Life Goes On"la[15] sahnede parladılar. Bu sözler 1968 tarihli *White Album* isimli müzik albümlerinin en akılda kalıcı parçasının ismi olmakla birlikte, bilinen en basit ve en içimize işleyen ifadelerden de biridir. Tüm bu suya sabuna dokunmayan dışsal varoluşunun altındaysa çok önemli bir mesaj taşır. Yerküre biçimlendiğinden beri üzerinde yaşam olduğu gerçeğini tüm o sağlam duruşuyla önümüze serer. Her gün böylesine kırılgan canlıların vücuda gelmeye devam ettiklerini görmekse daha da etkileyicidir. İşte bilimsel çevrelerde mütemadiyen sorulan soru yine karşımıza dikiliveriyor: "Böylesine kusurlu bir şey nasıl bu kadar uzun süre hayatta kalır?" Soru, biyolojinin en büyük gizemlerinden biridir.

Bu sorunun cevabını verme yolunda en büyük ilk adımı atan kişinin bir biyolog değil de bir matematikçi olması şaşırtıcı gelebilir. Bu matematikçiyle daha önce, Shannon'a bilgi

15 İng: Hayat devam ediyor.

fonksiyonunu entropi olarak tanımlaması konusunda öğüt verirken karşılaştık. Evet bu kişi John von Neumann'dır. Von Neumann mükemmele yakın bir şeyi kusurlu bileşenlerle yapılandırmanın mümkün olduğunu gösterdi. Biraz tuhaf gibi değil mi? Sezgilerimiz mükemmel bir şey yapılandırmak için kullanılan her bir parçanın zorunlu olarak mükemmel olması gerektiğini söyler. Canlı sistemlerin en büyük sorunsallarından biri de budur. İyi de nasıl oluyor da bir matematikçi hiçbir deneysel kanıtı ve açık konuşmak gerekirse pek de biyoloji bilgisi olmadan hayatı bu denli iyi anlayabilir? Cevabı aşağıda bulacaksınız.

Aslında von Neumann şu soruyu sordu: "Kısa ömürlü parçalardan süreklilik arz eden bir şeyi nasıl yapabiliriz?" Farz edelim gelecek altı bin yıl boyunca var olacak bir mesaj yazmayı ve böylece ileriki nesillerin de bundan faydalanabilmesini istiyoruz. Düşünün ki ben sonsuz mutluluğun sırrını keşfettim (elbette öyle bir şey yok ve ben de sizin kadar biçareyim. Ama yine de bazen bu mutluluğun bir puro ve tek bir kadeh malt viski arasında bir yerlerde bulunduğunu düşünmüyor değilim). Ve yine torunlarımın torunlarının torunlarının bu bilgeliğimden istifade etmelerini istiyorum. Böyle bir zamanın geleceğinden bile emin olamazken mesajımın böylesine uzun süreli olacağından nasıl emin olabilirim?

Dikkatli okuyucular, durumun Shannon'un Bölüm 1'de ortaya koyduğu meseleyle –Alice ve Bob arasındaki iletişimle– bir tür bağlantısı olduğunu görmeye başlayabilir. Bu çok önemli mesajı Alice yerine benim kodladığımı ve kanal olan telefon kablosunun da bizim durumumuzda zaman olduğunu düşünelim. Ayrıca daha önce Bob olan mesaj alıcısının şimdi uzak bir gelecekteki bir insan nesli olduğunu ve mesajımızı onlara iletmeyi istediğimizi hayal edelim. Bu varsayımla birlikte, haberleşme kanalının ve kullanıcılarının anlamını na-

sıl geniş kapsama yayabileceğimizi de görüyoruz. Konuyu biraz daha pekiştirmek için beni –kitabın yazarını– düşüncelerini ileten Alice olarak ve kendinizi –okuyucu– düşüncelerimin alıcısı Bob olarak düşünebilirsiniz.

Bir mesajın uzun ömürlülüğünün kolay sağlanabilir olduğunu düşünebilirsiniz. Belki de çok sağlam bir kasa yapıp, mesajı içine saklayarak beklemek yeterli olur. Ancak mesaj sadece bu sağlam yapı ayakta kaldığı sürece korunabilir. Doğal felaketler, insan kaynaklı felaketler, büyük salgınlar, hastalıklar ya da başka faktörler mesajımızın hayatta kalıp kalmayacağını etkiler. Mısırlılar piramitlerin oldukça sağlam olduğunu düşünüyorlardı, fakat onlar bile altı binyıldır birazcık zarar gördüler ve belki önümüzdeki beş bin yıl içinde hepten bozulup gidebilirler. Gerçekten de kendi gezegenimizin bile pek de uzak olmayan bir gelecekte çeşitli tehditler (hepsinin dış tehdit olmadığına da kesinkes eminiz) yüzünden tahrip olma ihtimali bulunuyor. Tüm bu hususlar dikkate alındığında, mesajımın gelecekteki soyuma iletilme olasılığının yüksek olduğuna nasıl emin olabilirim?

Mesajın nesiller boyunca iletilmesi konusu von Neumann'ın da zihnini meşgul ediyordu. Bu problematik konu öncelikli amacı devam etmek olan yaşam için de güzel bir metafor sunar. Yukarıdaki bahse dönersek mesajı içerecek sağlam ve hareketsiz bir yapı kullanmanın oldukça sığ görüşlülük olacağını söyleyebiliriz. Böyle bir yapının, çevresel değişikliklere koşulsuz direnç göstermesi beklenemez.

İhtiyacımız olan şey, çevresiyle başa çıkabilecek ve kendisine yönelik her etkiye cevap verecek kadar donanımlı olan bir şeydir. Bunun yanı sıra adaptasyon sağlayabilmeli, devinim halinde olabilmeli, engellerden ve tehdit söz konusu olduğunda tehlikeden kaçınabilmelidir. Bu bilgi taşıyıcısı neden yapılmış olursa olsun daima sonlu bir süreci olacak.

Çünkü hiçbir batarya sonsuza kadar çalışmaz, hiçbir kalp sonsuza kadar atmaz.

Konuyu örneklendirebilmek için kavramsal düşünelim ve bilgiyi taşımak adına sonsuzca yaşayabilme kapasitesi olan (sonsuz batarya, paslanmayan parçalar) bir robot yapabildiğimizi varsayalım. Diyelim ki bu robot zarar gördüğünde kendini koruyabiliyor ve aynı zamanda karmaşık çevresiyle de başa çıkabiliyor. Olay halloldu gibi görünse de hâlâ bazı kaygılarımız mevcut: Böyle bir aygıt yapma olasılığımızla ilgili endişeler (dediğimiz gibi, hiçbir batarya sonsuza kadar çalışmaz, hiçbir kalp sonsuza kadar atmaz) ve elimizden gelenin en iyisini yapsak dahi bu robotun işin bir evresinde mutlaka şansına küsecek oluşu. Yani robotun her türlü çevresel etkiyle ve olası zararlarla başa çıkabilmesi neredeyse imkânsızdır.

Öyleyse neden bir robot yerine yüz ya da bin tane üretmeyelim? Mesajın daim olması adına iyi bir fikir gibi görünse de son kertede yine belirli sayıda robotumuz olacak ve nüfus zamanla illaki azalacaktır. Yani kopyalarımızdan biri er ya da geç tökezleyecektir.

Tam da bu noktada pratik zekâ devreye giriyor ve kendi kendimize düşünüyoruz: "Neden kendi kendini birkaç defa üretebilecek dirençli bir robot yapmıyorum?" Böylece kendinden yarattığı her bir kopyaya mesajını verir ve kopyalar aynı şekilde kendi kopyalarına mesajı iletir ve süreç sonsuza uzar. Böylece hem mesajı taşıyabilen hem de kendi kendini yeniden üretebilecek olan nesillerle mesajı süresiz olarak korumayı da başarmış oluruz.

Von Neumann'ın kendi kendini üreten otomat[16] üzerine yazdığı tezinin özünü bu fikirler oluşturuyor. Neumann ku-

16 Özdevinir: Canlı bir varlığın yapabileceği bazı işleri yapan mekanik veya elektrikli araç.

surlu parçalardan yapılmış robotlarla çoğalma sürecinin tamamlanabileceğini göstererek büyük katkı sağladı. Bu yaklaşım von Neumann zamanının bilimsel yapılanmasında elbette çok büyük ihtilaflar doğurmadı.

Çoğalma konusuna iki ana noktada itiraz geldi. İlkini von Neumann'ın kendi sözlerinden inceleyelim: "Eğer otomat bir diğer otomatı imal edebiliyorsa, ebeveynden mamule doğru giderken istenmeyen durumlarda (komplikasyonlarda) bir azalma olması gerekir. Yani, A B'yi üretebiliyorsa, A'nın bir şekilde B'nin eksiksiz bir tanımını içermesi gerekir. Bu bağlamda, bir otomat diğer bir otomatı oluştururken kesin bir dejenerasyon eğilimi yani karmaşıklıkta bir azalma beklenmelidir." Bu oldukça bozguncu bir eleştiri, çünkü günlük hayat deneyimiyle tamamen çelişiyor gibi görünüyor. Canlı yaşamı daha az karmaşık organizmalar basitleşiyor değildir, aksine giderek daha da karmaşıklaşmaktadır.

Von Neumann'ın otomatın "komplikasyonu" diye adlandırdığı şeyin, otomatın içerdiği bilgiyle ilgili olduğunu aklımızın bir köşesine yazalım. Yani bir otomat ne denli karmaşıksa, onu en uygun şekilde tanımlamak için daha fazla bilgi ikili sayısı (bit) gerekmektedir. Bu arada, biyolojik çeşitlilikten (komplikelilik) pek çok farklı şekilde bahsedilir, bunları kitabın ilerleyen bölümlerinde inceleyeceğiz.

Kendini yeniden üretme görüşüne gelen ikinci temel eleştiriyse bir öncekiyle bağlantılıdır. Ancak bu defa eleştiri sadece deneyimle değil, mantıkla da çelişiyor. Eğer A, diğer makineyi, B'yi üretecekse, B'nin A'da ilk başta bir şekilde muhteva edilmesi gerekir gibi gözüküyor. Ancak şimdi de B'nin C'yi üretmek istediğini düşünelim. Bu demektir ki C, B'de muhteva ediliyor, fakat B, A'da muhteva edildiğine göre, C zaten A'da muhteva ediliyor olmalıdır. Hâlâ başınız dönmüyor mu? Özünde söylemeye çalıştığımız şey şu; eğer bir şeyin yüzler-

ce nesil boyunca süreceğinden emin olmak istiyorsak, bu şeyin tüm ardıl kopyalarını ilk kopyada muhafaza etmek gerekecek demektir. Sonsuz sayıda kopya için genelleyecek olursak, kaynakla ilgili bir imkânsızlık oluştuğu açıktır. Çünkü A'nın sonsuz miktarda bilgi ihtiva etmesi gerekmektedir.

Bu ikinci itiraz bana bir akıl hastanesinin sakiniyle ilgili bir metaforu hatırlatıyor. Hasta dünyayı tüm detaylarıyla çizme misyonunu üstlenmiştir. Resme bir yerden başlamak zorundadır, bunun için bulunduğu akıl hastanesinin bahçesini seçer. Bir süre sonra bahçeyi betimleyişinden son derece memnun bir haldeyken resminde bir şeyin eksik olduğunu fark etmesiyle keyfi kaçar. Resimde kendisi yoktur! Tüm bahçeyi en ince ayrıntısına kadar tüm karmaşıklığıyla çizmiş olsa da kendini, yani ressamı unutmuştur. Hatayı düzeltmek için hemen resme kendini de ekler, fakat daha o anda resmin hâlâ tamamlanmadığını keşfeder. Çünkü hâlâ resmin dışındadır! Kendini resimde çizmiştir ancak kendisi –resmi çizen gerçek ressam– resme katılmayı beklemektedir. Hemen yanlışı düzeltir ve resme tuvalinin başına geçmiş bir ressamı dahil eder. Düşünüp düşünüp durdukça dehşet içerisinde resmin hâlâ tamamlanmadığını ve daha da kötüsü asla bu işi bitiremeyeceğini fark eder (çalıştığım fizik bölümündekilerin yarısının da kanıt olarak gösterilebileceği üzere, deli olmak zeki olmayı dışlamaz). Burada ressam, matematikçilerin sonsuz döngü[17] diye adlandırdıkları açmaza yakalanıyor.

Bölüm 1'e döndüğümüzde Wheeler ve Deutsch'un da diğer tüm yasaları çizen nihai doğa yasasını ararken aynı sorunla karşılaştıklarını görüyoruz. Öyle bir yasa istiyorlardı ki tam anlamıyla bütüncül olsun ve kendi dışında kendini açıklayan başka bir yasaya ihtiyaç duymasın. Benzer şekilde res-

17 İng: Infinite regression. (Felsefe ve mantık problemi)

samın durumunu düşünürsek, buradaki paradoks, yasanın gerçekliği çizmekte gösterdiği hünerle ilgili değil, her şeyi içine alan bir resmi asla üretemeyecek oluşundan ötürüdür. Çünkü yasa, resme kendini katma konusunda her daim başarısız olmaktadır.

Yaşayan canlıyı yeniden yaratma problemini çözmeye çalışan doğa da aynı mücadeleyi veriyor gibi görünüyor. Canlı bir organizma, ardılının kopyasını ihtiva etmek zorundadır ve yine ardılı da aynı şekilde kendisinin kopyasını ihtiva etmeli ve bu böyle sürmelidir. Bu sonsuz serinin dışına nasıl sıçrayacağız? Bildiğimiz hayat gerçekten de mantıksal bir imkânsızlık mıdır?

Von Neumann da bu itirazların farkındaydı. Bu itirazlara cevap verdiği bir makale yazarak, yeniden üretimin yeni nesillerin kompleks yapısında azalmaya yol açmadan hem mantıksal hem de kılgısal olarak mümkün olabileceğini gösterdi. Von Neumann'ın biyoloji konusunda formel bir eğitimi olmadığı ve yalnızca soyut düşüncenin gücünü kullandığı düşünüldüğünde bazen böylesi köşe taşı niteliğinde bir sonuca ulaşmış olması gerçekten kafa karıştırıyor.

Von Neumann'ın esas düşüncesi sürecin farklı bileşenleri arasında açık bir ayrım olduğu olgusu üzerinde temelleniyordu. Bir nesnenin (bir ev, araba, buzdolabı vs.) kopyalarını üretecek bir mesajın, tüm komutları içerisinde taşıdığını düşünürsek, nesneyi zamanda sonsuz olarak üretmek için ihtiyacımız olan şeyler aslında yalnızca komutları kopyalayan bir kopyalayıcı ve komutları kullanarak kopyaları inşa eden bir inşaatçıdır. Von Neumann'ın yaklaşımının özü budur, ancak konuda bütünlük sağlamak adına tam bir yeniden üretim (modern biyoloji dilinde eşleme[18] olarak biliniyor) için ihti-

18 İng: Self-replication.

yaç duyulan tüm bileşenleri harf harf kodlamama izin verin. Okuyucu ileriki birkaç sayfayı oldukça zorlayıcı bulabilir ancak kendinizi bu köşe taşı niteliğindeki çalışmaya daha yakın hissedebilmeniz için harcayacağınız çabaya değecektir.

Evrensel inşaatçı makineye M diyelim ve uygun komut verildiğinde her türlü nesneyi inşa edebiliyor olsun. Komuta da I[19] diyeceğiz. Komutu (I) kopyalayabilecek olan özel kopya makinesine de X diyelim ve M'nin inşa ettiği ilgili nesnenin içine yerleştirelim. Örneğin M bir fabrikadaki inşa makinesidir ve diğer karmaşık makineleri inşa edebilmektedir. Eğer M'ye bir araba inşa etme komutunu verirsek araba inşa edecek. M'ye sandalye yapma komutu verirsek sandalye inşa edecek. M'ye kendi kendini inşa etme komutu (örneğin M'yi inşa ederken kullanılmış olan esas komut) verirsek yine aynı şeyi yapacak ve sonuçta elimizde iki özdeş makine olacak. Şimdilik iyi iş çıkarıyoruz. Devam edelim. Bir sandalyeyi, bir masayı, başka bir şeyi ya da makinenin kendisini kopyalayacak komutun da bir kopyası edinilemediği sürece iş yürümeyecek. Bu yüzden tüm komut kılavuzunun da kopyasını yapacak bir Xerox makinesi kullanıp onu da esas makineyle birlikte kullanalım.

Bir komutun (I) verilmesi ve komutun kopyalanması süreci bir mekanizma tarafından denetlenmek (kontrol edilmek) durumundadır. Buna da C diyelim. Fabrika örneğiyle şöyle bağlayalım. Makineye komutları veren, Xerox işlevini gören ve makinenin kopyası yapılacağı zaman komut kılavuzunu da sağlayan bir yöneticiye kontrol mekanizması diyebiliriz.

İnşaatçı makineyi fabrikada ve şirketin sahip olduğu tüm fabrikalarda eşlemek suretiyle üretimdeki pazarı potansiyel olarak artırabiliriz. Böylece şirketin idari müdürü sevinçten

19 İng: Introduction.

havalara uçar. Eğer 1000 adet inşaatçı makinemiz varsa bir seferde 1000 sandalye (araba ve başka bir sürü ıvır zıvır) yapabiliriz ve üretimi daha da artırmayı istediğimiz zaman inşaatçı makineye kendi kopyasını yaptırmak gibi bir seçeneğimiz de hâlâ mevcuttur. Yeni inşaatçı makineyi işletebilmek için bir başka denetim birimine daha ihtiyaç duyarız (daha önceki mekanizmayı (C), iki makineyi de aynı anda işletmesi konusunda ikna edemezsek eğer).

Durun bir dakika: Yeni denetim birimi eşleme sürecini başlatmak için makineyi nasıl kullanacağını ve komutların kopyasını nasıl yapacağını biliyor mu? Büyük ihtimalle bilmiyor. İkisi konusunda da eğitilmesi gerekecek. Belki de bu inşaatçı makineye en genel anlamıyla evrensel bir yapıcı olarak bakarsak, denetim birimi ve denetim birimi tarafından kullanılacak olan Xerox makinesinin nasıl inşa edileceğiyle ilgili komutlar da göndermek gerekecek. Yeterli güç ve materyalle bunu yaptığımızda, bu yapıcı makine her gerektiğinde kendi eşleniğini sonsuzca yapabilecek durumda olacak. Öyleyse bu sonsuz inşa sürecini kısaca özetleyelim.

Yola çıkacağımız öğeler: (i) evrensel inşaatçı, M; (ii) Zerox, X; ve (iii) denetim birimi, C. Mükemmel bir eşleme süreci istiyorsak yalnızca M'yi nasıl inşa edeceğimiz konusunda değil, C'yi ve denetim biriminin kullandığı X'i de nasıl inşa edeceğimizle ilgili bir dizi komuta ihtiyacımız olacak. Yani M, C, X ve bunları nasıl inşa edeceğimizle ilgili komutlar aslında kendini eşleyen mükemmel bir mevcudiyet meydana getiriyor ki bu da E[20] ile ifade edilecek.

Denetim birimi M'yi, C'yi ve X'i inşa etme komutlarını alır ve M'ye verir. Daha sonra M kendini yani *M'*, denetim birimi *C'* ve Xerox makinesi *X'*i eşler. Denetim birimi ayrıca Xerox

20 İng: Entity: Varlık, mevcudiyet, entite.

makinesini kullanarak I komutlarının da bir kopyasını yapar. Şimdi elimizde *M'*, *C'*, *X'* ve *I'* var ve bu dizi tam anlamıyla işlemsel bir kendini eşleyen varoluş yani *E'* olarak gönderilmeye hazırdır.

Farkındaysanız daha önce yaşadığımız kısır döngüden –mesajın sonsuza kadar iletilmesi için ilk varlığın her bir ardılının komutlarını ihtiva etmesi– bu defa kendimizi koruduk. Evrensel inşa ediciyi, Xerox makinesini, denetim birimini ve bu üçünün komutlarını içeren bir varoluş inşa ederken attığımız adım sağlamlaşıyor. Bu süreç, mantığın (Boole) kurallarına göre akla uygun ve dosdoğrudur. İşte von Neumann'ın argümanına ilişkin söyleyebileceklerimiz bunlardı.

Von Neumann'm mantığı kendini eşleme konusunun dar bağlamında ele alınsa da daha önce tartıştığımız sonsuz döngüye asla yakalanmıyor. Peki bu mantık diğer benzer problemlerin, örneğin Deutsch ve Wheeler'in "yasasız yasa" mevzuunun altından kalkmaya da girişebilir mi? Evrendeki her şey benzer şekilde hiçlikten doğuyor olabilir mi? Bu konuyla kitabın üçüncü bölümünde oyalanacağız.

Von Neumann'ın argümanında sonsuzca kendini eşlemenin önünde herhangi bir mantıksal engel bulunmuyor olsa da, yine de sürecin her bölümünün mükemmel olduğunu varsaymak gibi önemli bir pratik zorluk yaşıyoruz. İyi de ya sürecin herhangi bir safhasında hatalar olmuşsa? Kendini eşleme süreci bir şekilde tehlikeye düşerse (örneğin denetim birimi komutun bir sayfasını fotokopi yapmayı unutursa, fotokopi makinesi tonersiz kalırsa ya da oldu olacak makine bozuluverirse) ne olur? Peşi sıra gelen soru, zarar görmüş komuta göre inşa edilmiş M'nin sonraki kopyalarına ne olacağıdır. Sürecin aksadığını, yani açıkça devam edemeyeceğini söylemekten başka cevap yok gibi gözüküyor. Ancak işte tam da burada von Neumann'ın ikinci sezgisel çözümü devreye

giriyor. Neumann durumun bu olmadığını ve kusurlu bölümlerin bile bizi devamlı bir eşlenik sürecine götürebileceğini gösterdi. Bu sorunsuz noktaya, artıklığın[21] eklenmesiyle yani E'nin çok sayıda kopyasının yapılmasıyla varabiliyoruz. Bazı eşlenikler denetim biriminin kalite testini geçemeyecek derecede etkilenseler de, diğerleri kabul edilecek ve birlikteki diğer öğeleri çoğaltacaklardır.

Bir şeyi daha açıklığa kavuşturalım. Gerçekte kalite testini her zaman denetim birimi yapmaz; dışsal faktörler de (örneğin çevre) bu işi yapabilir. Şirketlerin franchising hizmeti vermelerinin yaygınlaşmasına da von Neumann'ın kendini eşleme çerçevesinden bakılabilir. Starbucks'ı başarılı bir franchise olarak alalım. İlk Starbucks 1970 yılında Seattle'da açıldı ve kahve satışında öylesine tatmin edici bir başarı yakaladı ki giderek büyüdü. Mücadele, orijinal Starbucks'ta çok iş görmüş modeli kopyalama mücadelesiydi. Olağanüstü detaylara rağmen bu iş başarıldı ve şimdi dünyanın 30 ülkesinde neredeyse birbirinin tıpatıp aynısı 16.000 Starbucks bulunuyor. Pekin'de ya da Atina'da bir Starbucks gördüğünüz zaman içeceğiniz kahvenin tadının New Jersey'de uğradığınız Starbucks'takiyle aynı olacağını bilirsiniz.

Öte yandan, birkaç Starbucks komut serisini doğru uygulayamadığı için kapandı. Ürettikleri kahve orijinal çekirdeğe sadık değildi ya da "bahisçi müşterekleri" paralarını yatırmaya teşvik edecek denli eskiyi andırmıyor ve tanıdık hissettirmiyordu. Kimileriyse orijinalin mükemmel kopyaları oldukları halde kapandı. Bu son gruptaki kapanmaların sebebi çevresel zorluklardı (yerel halkın Starbucks karşıtı olması, yerel kahve evlerinin tercih edilmesi ya da belki kahve evlerinden genel bir uzaklaşma trendi sebebiyle). Örneğin 2008 yılında

21 İng: Redundancy.

ekonomik yavaşlama gibi çevresel nedenlerden dolayı 600 Starbucks kapandı. Mükemmel bir eşlenik bile başarıyı garanti etmiyor.

En başarılı işletmeler bu durumu kavrayabilenlerdir. Onlar iyi bir idari sistemle ya da hünerli harici danışmanlarla çevrelerinden gelen bilgiyi devamlı olarak işleyebilirler. Bu bilgi, kendi yeni komut setlerini mütemadiyen evirmelerini sağlayan içsel kapasitelerinin bilgisiyle birlikte kendi komut setlerini besler. Yaşayan sistemlerin tersine işletmeler, komut sistemlerindeki değişiklik ayarlamalarını daha kısa sürelerde yapabilirler. Bunun olma hızı ajilite (çeviklik) olarak bilinir ve bu bağlamda işletmenin uzun süreliliğinin de anahtarıdır.

Hewlett Packard 1939 yılında elektrik mühendisleri William Hewlett ve David Packard tarafından Palo Alto'da bir garajda kuruldu. Öncelikle elektronik test araç gereçleri yapımına, –salınımölçer (osiloskop) ve termometre gibi– odaklandı. Daha sonra elektroniğin gelişimiyle yarıiletken aygıtlar ve hesap makineleriyle yoluna devam etti. 1960'ların sonlarına doğru minibilgisayarlara yönelen piyasada atılımlar yaptı. Bugünse bilgi işleme, görüntüleme, yazdırma, depolama ve yazılım girişimlerinde dünyanın lider markalarından biri olarak biliniyor. Şartlar değiştikçe (pazar talepleri, bilgi çağı) HP de komut setini yeni dalga teknolojik değişimlere uydurmayı başardı.

Von Neumann'ın esas niyeti işletmeleri ve başarılarını açıklamak ya da fabrikaların nasıl başarılı olacağını göstermek değildi elbette. O, kendini eşleyen robotlar yapmanın ve böylece diğer gezegenlerdeki hayatı keşfedip oralarda kolonileşmenin mümkün olabileceğini göstermek istedi. Ancak yaşayan organizmaların kendisinden üç milyar yıl önce bunu zaten yaptıklarına dair pek az şey biliyordu!

1930'lu ve 1940'lı yıllarda biyolojideki genel kanılar Von Neumann tarafından açıkça ifade edilen görüşün, yani insan hücresinin kendi eşleme bilgisini taşıyan yapısı üzerine odaklanıyordu. Bu yapının çocuklarımızın saçlarının, gözlerinin, kilolarının renginden sorumlu olduğu düşünülüyor, yapı bize kendi sürecimizin ve üreteceği her bir eşleniğin komut setini veriyordu. Yapıyı keşfetme yarışında James Watson, Francis Crick, Rosalind Franklin, Maurice Wilkins, Erwin Schrödinger, Linus Pauling ve burada ismini sayamadığım isimler de bulunuyor. Bu oldukça heyecan verici ve önemli bir dönemdi. İnsanlık adına mükemmel bir şeyin, kim olduğumuza ve nereden geldiğimize dair daha iyi bir kavrayışa ulaşmanın tam da eşiğindeydik.

En sonunda eski bir ornitoloji (kuşbilim) öğrencisi olan James Watson ve eski bir fizikçi olan Francis Crick (yukarıda sayılan isimlerin de katkısıyla) ortak bir çalışmayla yarışı kazandılar. Onlar biyolojik komut setinin taşıyıcısı olan karmaşık asit molekülü DNA'yı (deoksiribonükleik asit) keşfettiler. DNA, DNA'yı taşıyan organizmanın kendi kopyasını nasıl üreteceğinin bilgisini taşıyan komut seti I'ya benzer ve evrensel yapıcı M makinesine verilen komutları kendi içinde taşır. Doğa bu molekülü muhafaza edip saklamakta müthiş derecede dikkatlidir. Her birimiz yalnızca bir DNA molekülü taşımayız, her canlı organizmanın neredeyse her bir hücresi DNA içerir. Dahası her bir DNA molekülü tüm bir organizmayı yeniden üretmeye muktedirdir (elbette uygun şartlar oluştuğunda). Bu durum von Neumann'ın söz ettiği artıklık kavramına da bir örnek teşkil eder. Watson ve Crick (ve Wilkins) 1962'de fizyoloji ve tıp dalındaki Nobel ödülünü haklarıyla aldılar.

Von Neumann'ın evrensel yapıcısı dahilinde bakarsak ihtiyacımız olan dört eleman görüyoruz: Evrensel yapıcı M, Xerox makinesi X, denetim birimi C ve komut seti I. Bunlar hep

birlikte kendini eşleyen mevcudiyeti, E'yi meydana getirirler. Bu şemayı hayatla kıyaslarsak, hücrenin kendisini E mevcudiyeti olarak görebiliriz. Hücrenin içinde bunu mümkün kılan dört bileşen bulunur:

(i) protein sentezleyen makine, M,
(ii) biyolojik nano-engine[22] (Xerox kopyalayıcısına benzer), X
(iii) Nano-motoru kapatıp açarak denetim birimi görevi yapan enzimler, C,
(iv) DNA komut seti, I.

Esasında bu büyük resme geniş kapsamla bakıldığında kabul edilebilir gibi görünse de, hâlâ üzerinde düşünülmesi gereken pek çok ayrıntı bulunuyor; örneğin hâlâ üzerinde araştırmalar yapılan nano-motorun çalışma süreci gibi.

Böylece, her bir hücrenin çalışması ve eşlenmesi sürecinin mavi kopyasını (detaylı taslak, ozalit baskı) taşımasından ötürü DNA, sürecin anahtarı olarak görülebilir. Hücrelerimizin içindeki bu yapıcı makine aminoasitleri sentezler, sonrasında bu aminoasitler çeşitli proteinleri ve vücudumuza gerekli yeni hücreleri yaparlar. Hücre çoğalması elbette son derece karmaşık bir süreçtir, ancak özünde von Neumann'ın resmiyle örtüşür. Yeni proteinler yapılırken DNA'nın bir hücreden diğer hücreye dosdoğru kopyalanması (ya da Zerox'lanması) kritik bir adımdır. Burada dikkat edeceğimiz şey hücrenin bilgi taşıma kapasitesidir çünkü hayatın devamlılığının en temel işareti budur. Öyleyse Zerox'lama süreci nasıl çalışıyor? Tonerimiz ya da kağıdımız biterse ya da bir hata yaparsak ne olacak?

22 Nano-motor.

Yeni bir DNA dizisi yapmak tıpkı eski bir fermuarı model alarak yeni bir fermuar yapmaya benzer. Bir fermuar yeni bir DNA dizisinden bir parça daha basittir çünkü yalnızca tek tip dişli çeşidi içerir. DNA'nınsa fermuarın aksine dört dişlisi vardır; A, G, C ve T (bu harfler, bazlar olarak bilinen dört temel molekülün isimlerini temsil eder; adenin, guanin, sitozin ve timin).

DNA kopyalayıcısı (yaşayan çoğu hücredeki) ilk olarak eski DNA dizisinin bir bölümünü çözer (fermuarını açar). Ardından eski DNA dizisinin bozulmamış seksiyonlarının her biri için hücre havuzundan tam bir bütünleyici dişli bularak bütün bir fermuar yaratır. Kural şudur: Bir A dişlisi ancak bir T dişlisiyle ve bir C dişlisi ancak bir G dişlisiyle (ve tam tersleri) eşleşir. Bu demektir ki kopyalayıcı, DNA dizisinde A dişlisi gördüğünde bunun T dişlisiyle eşleşeceğini derhal anlar.

C ve G'nin ve A ve T'nin birlikte eşleşmesi olgusu tıpkı bir anahtar ve kilit mekanizması gibidir. Bazı anahtarlar bazı kilitler için ya çok küçük ya da çok büyük kalır, ancak bazıları mükemmel şekilde eşleşir. Bu dördü yalnızca spesifik çiftliler halinde birleştikleri için, çözülmemiş (fermuarı açılmamış) bir DNA dizisi (serbestçe dolaşan dişlileri içeren) çevre havuzda açığa çıktığı anda bu özgür dişliler dalgalanır ve uygun sırada dizilirler. Örneğin çevre havuzdaki serbest bir A dişlisi bir C ya da G ile genelde eşleşmeyecektir. Özetle DNA dizisinin kopyalarının yapılma süreci bu şekilde işler.

Doğanın, orijinaline sadık bir kopya yapabilme olasılığını artırma adına artıklık fikrini nasıl kullandığını görünce şaşırıyoruz. Örneğin ATC gibi üçlü bir baz grubu bir amino asitle birleşir. A, C, T ve G olarak dört baz olduğu düşünüldüğünde dört çarpı dört çarpı dört yani 64 adet üç bazlı uzun kombinasyona sahip olabiliriz demektir ve bu da 64 farklı aminoasit kodlama olasılığını gösterir. Bununla birlikte oldukça şa-

şırtıcı olan totalde yalnızca 20 aminoasit bulunmasıdır (ve bunların tümü, vücutlarımız da dahil yaşayan tüm maddeyi oluşturur) ve buradan aynı aminoasitle birleşen birden çok üçlü baz olduğunu çıkarımlarız. Yani örnekleyecek olursak, doğada ATT, ATC ve ATG üçlülerinin tümü de izolösin aminoasidini ve aynı şekilde AGA ve AGG de arginin aminoasidini kodlar.

Peki tüm bu aşırı kodlamanın anlamı ne? Daha önce olduğu gibi durumun temel avantajı DNA eşleme sürecinde hataları minimize etmektir. Yani eşlenik süreci bir hata yapar da ATT yerine ATC şeklinde kopyalarsa (yani son harfi yanlış kopyalarsa), yeni eşlenik organizmada bu, fark edilmeyecektir, çünkü ATT ve ATC üçlülerinin ikisi de aynı izolösin aminoasidini kodlar. Gördüğümüz gibi doğa şansa çok az yer bırakıyor, ne hüner ama!

Artıklığın ya da fazlalığın bu türü –bir ve aynı aminoasidi kodlamak için birkaç farklı baz dizisinin olması– hatayı düzeltmenin standart yoludur. Modern bilgisayarlar ve iletişim sistemleri düşünüldüğünde de durum kesinlikle böyledir, ancak insanın tüm bilişsel süreçleri için de sürecin böyle işlemesi gerçekten büyüleyicidir.

Birkaç yıl önce mesaj kutuma gelen bir mesajdan örnek vereyim. "Cmairbdge üvinertidesinse yıpaaln bir ayaşrırmata gröe, sözğücün iseriçinkedi hafrleirn dziişili öenmli diğilder, öenmli oaln tek şey ilk ve son harlferin dğoru yrede bluunmadısır. Geri klaan hafrler tam bir kramşaa iiçnde olalibir ve siz ynie de yzaıyı porblemisz şekilde okyaubilirsiniz. Bunun sebbei iasnn zhinniin tek tek hrafleri değil, tmüüyle söğcüzü oukmasıdır." Bu örnek bize yalnızca genetik kodlamada değil İngiliz dilinde[23] de fazlasıyla artıklık olduğunu gösteri-

23 Yazar İngiliz dilini örnek veriyor ancak Türkçe için de aynı şekilde geçerlidir.

yor. Eğer bu doğru olmasaydı, öğrencilerim kâğıtların üzerine çiziktirdiğim yorumları asla okuyamazlardı.

Tıpkı genetik kod gibi, kitabımın da bazı bilgiler iletme arzusu bulunduğuna göre, artıklığının ne olduğunu merak edebilirsiniz. Bölüm 1'de söz edilen Shannon entropisini kullanarak hesap yaptığımda sonuç 7.4 çıkıyor. Yani mesajımı 200 sayfada yazacağıma, söylemek istediğim her şeyi pekâlâ 25 sayfada da söyleyebilirdim. Yine de okuyucunun bunun için bana teşekkür etmesini beklemiyorum (yoksa beklemeli miyim?).

Bölüm 3'teki önemli noktalardan birinin ayrık ikili sayılarla oluşan evrensel bir dil kullanmanın önemine vurgu yaptığını hatırlıyorsunuzdur. Doğanın da bilgiyi ayrık kodlamayla ilettiğini gördük. Ancak doğa kodlama için iki baz kullanmak yerine daha önce Boole mantığında gördüğümüz gibi dört ayrık baz kullanıyor. Peki Shannon ikinin her şeyi yapmak için yeterli olduğunu göstermişken doğa neden dört bazla kendini sıkıntıya sokuyor? Bu da biyolojinin kilit sorularından biridir ve biz Bölüm 9'da bazı büyüleyici yanıtlar önereceğiz.

Düşünülmesi gereken ikinci konuysa doğanın analog (dijital olmayan) kodlama yerine dijital kodlamayı seçmesinin sebebidir. Diğer bir söyleyişle, doğa sonsuzca devamlı bir bazlar seti yerine neden dört adet baz seçti? %100 hatasız matematiksel bir kanıt bulamasak da dijital kodlamanın herhangi bir analog formdan daha iyi olduğunu ileri süren oldukça iyi bir önerimiz var. Dijital kodlama lehine iki gerekçe bulunuyor: Bilgiyi işlerken gereken enerjinin azaltılması ve bilgi işleme sürecinde kararlılık. Şimdi ikisini de inceleyelim.

Önce bilgi işleme sürecini enerji giderleriyle ilgili düşünelim. 10 bitle (sıfır ve birli iki olası halden oluşan 10 sistem) başladığımızı ve bir biti döndürmek için belirli bir birim enerji miktarı harcandığını düşünelim. Bu tasarlayabileceğimiz en basit süreçtir. Öyleyse 10 biti döndürmek bu enerji birimin-

den 10 kez harcamamızı gerektirir. Benzer bir işlemi herhangi bir analog ortamda yürütebilmek için daha fazla enerji harcamak zorundayız. Analog bir ortamda 10 biti temsil etmek için 1024 farklı hale (2 üzeri 10, 2'nin 10. kuvveti) ihtiyacımız olacak. Bu bütün analog sistemlerin zorunlu bir özelliğidir. Şimdi sebebine dair sezgisel bakış açısı geliştirelim ve analog kodlamanın en düşük ve en yüksek enerji halinin arasında 1024 enerji birimi olduğunu ve bu sayının dijital kodlamada 10 olduğunu düşünelim. Bu büyük enerji gideri yalnızca, analog kodlamanın doğası gereği (bit bit değerlendirilmektense) bir bütün olarak değerlendirilmesinden kaynaklanmaktadır.

Doğanın DNA'daki bilgiyi ayrıklaştırmasının ikinci avantajıysa kararlılıktır. Yine doğası gereği analog kodlamada hataların fark edilmesi önemli ölçüde zordur çünkü analog kodlama devamlıdır ve dolayısıyla farklı halleri ayrımsamak dijital kodlamaya göre daha zordur. Bundan dolayı doğa, mesajını üç milyar yıl öncesinde analog ve dijital kodlamaların karışımı olarak kodlamış olsa da şimdi neden sadece dijital kodlamayı kullandığını anlayabiliyoruz. Muazzam enerji gideri ve hatalara daha hassas olan analog kodlamadansa, dijital kodlama her zaman doğal olarak tercih edilecektir.

Ancak bu dijital rotayı seçen yalnızca doğa değildir. Tüm modern teknoloji de dijital prensiplere dayanır ve bu yüzden hatalara karşı daha dirençlidir. Şimdiki hataların çoğunluğunun sebebi insanlar ya da insan ve makine arasındaki arabağlardır. Güvenilir olansa dekorun ardındaki, her bir mikroçipin işlemci birimlerinin derinliklerindeki bilgi işlem sürecidir. Bundan dolayıdır ki buradaki mesaj son derece açıktır: Söz konusu olan bilgi işlemse "yol yöntem bilmeli ve ayrıklaştırmalısınız."

Doğa, komut seti I'ın mükemmel kopyalarını yaparken tüm itina ve marifetini gösterse de, bazı hatalar yine de düzel-

tilmeden kalmaktadır. Bunlara mutasyonlar deniyor. DNA eşlenik sürecinde ortalama hata payı milyonda bir civarındadır. Çok yüksek gibi görünmeyebilir ama şunu bir düşünün: Milyonda onluk bir hata payı bir sonraki çocuğunuzun şempanze olarak doğmasına neden olabilir. Mutasyonların çoğu zararlı olmaya eğilimlidir ve canlılığını sürdüren bu yapılandırılmış organizmanın canlılığını harap ederler. Bazı mutasyonlarsa yeni ve çevresine daha iyi adapte olabilen gelişkin bir forma götürürler. Bu "doğal seleksiyon" olarak bilinen evrim sürecinin temelidir.

Sürdürülebilir bir eşlenme sürecine yönelik temel itirazlardan birini daha hatırlayalım: Ardıl kopyaların karmaşıklığı azalmak durumundadır. Şimdi bunun doğru olmadığını ve sebebini biliyoruz. Karmaşıklık aslında ortalama olarak artmaktadır. Karmaşıklığın artışındaki ana öğeyi, yani doğal seleksiyon sürecini tüm açıklığıyla ilk tanımlayan Charles Darwin'dir. Doğal seleksiyon süreci çevreyle bağıntı kurmayı sağlar çünkü hayatta kalan nitelikler çevreye en iyi uyum sağlayanlar olmaktadır. Örneğin dünya tümüyle suya gömülse, doğal olarak yalnızca suda nefes alabilen canlılar hayatta kalacaktır. Dahası tufanın peşi sıra çoğalacak gen havuzunda, hayatta kalan bu organizmaların DNA'ları da bulunacaktır.

Konuyu ters yüz ettiğimizde, DNA'nızın atalarınızın yaşadığı çevresel değişikliklerin tarihi bir kaydı olduğu düşünülebilir (Dawkins bunu "Ölünün genetik kitabı" olarak tanımlıyor). Tarih çeşitli seviyelerdeki çevresel değişiklikler karmaşasından doğduğuna göre, yaşayan her DNA'nın daha karmaşık hale geleceği açıktır (çünkü çevresel değişimlerle ilgili giderek daha da fazla bilgi içermektedir). Organizmaların çevrelerine daha iyi uyum göstermesini sağlayan mutasyonları seçen şey doğal seleksiyon sürecidir. Bu süreç esnasındaki çeşitliliği sağlayan DNA'mızdaki rastlantısal değişiklikler düşünüldüğünde,

seleksiyonun rastlantısallık olmadan yürümeyeceğini de bir kenara yazalım. Genel bir tema olarak baktığımızda, anlamlı bilginin, rastlantısal olaylarla determinist seleksiyon arasındaki karşılıklı etkileşimden zorunlu olarak doğduğunu görmekteyiz. Ayrı ayrı olduklarında ikisi de yetersiz kalacaklardır.

Şimdi biyolojik bilginin özünü onun devamlılığı bağlamında anladığımıza göre, bu irfanımızı genetik hataları düzeltmek için kullanmak faydalı olabilir. Ölümcül hastalıkları ve sakatlıkları bertaraf etmeye ve hayatımızın kalitesini tümden artırmaya olanak tanıyabilir. Bu tür araştırmalarla sıcak tartışmalara konu olan ve bir tür ihtilaf yaratan bu alanın adı genetik mühendisliğidir.

Genleri yapay olarak değiştirmekteki sıkıntı şuradan kaynaklanır. Genler ve bireyin nitelikleri arasında "bire bir" bir uyuşma neredeyse hiç yoktur. Sadece gözlerimizin rengini belirlemeye tahsis edilmiş genler bulunmaz. Aynı gen dizisi boy, görünüm vb. gibi başka özelliklerimizi de belirler. Yani bebeğinizin gözlerini genetik olarak değiştirmek istiyorsanız, ilgili genleri değiştirdiğinizde büyük ihtimalle çocuğunuzun başka özelliklerini de etkileyeceksiniz.

Tüm bu genetik ilişkileri anlayana kadar genetik mühendisliğini herhangi bir olumlu amaç için tutarlı olarak kullanmak zor gibi görünüyor. Değişimlerin her daim iyicil olduğuna emin olmak adına bu ilişkileri hangi dereceye kadar kavrayacağımız da belli değil. Çoğumuz değişimlerin iyicil olacağı günün umudunu taşıyor, ancak doğa iyimserliğimize zerre değer vermiyor. Şahsen ben bu konuyu ciddi bir ahlaki ikilem olarak görmüyorum, çünkü yüksek bir başarı oranıyla insanların esas genetik karakteristiklerini tutarlı şekilde etkileyecek yeterli bilgiye henüz sahip olmadığımızı düşünüyorum. Bununla birlikte genetik mühendisliğinde bilim insanları ve bilim insanı olmayanlar arasında (hatta bilim insanları-

nın kendi aralarında da) bu konuda başka hiçbir konuda olmadığı kadar fikir ayrılığı yaşanıyor.

Tüm bu DNA hikâyesine bir dipnot olarak ekleyeyim; Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger, Watson ve Crick'i DNA konusunda oldukça etkiledi. Schrödinger kuantum mekaniğinin (Bölüm 9'da onunla tekrar karşılaşacağız) öncülerinden biriydi ve fizikte yarattığı devrimden sonra, dikkatini biyolojiye çevirdi. Biyolojide de hızlı adımlarla ilerledi, öyle ki bilgi eşleniği mekanizmasını neredeyse eksiksiz olarak Watson ve Crick'ten tam 10 yıl önce çıkarsamıştı. Eşlenerek çoğalma tanımı tüm ayrıntılarına kadar doğruydu ancak tek farkla; eşlenme sürecindeki kodlayıcının bir kristal olması gerektiğini düşünüyordu (çünkü kristallerin kalımlı ve periyodik bir yapıları vardır ve bilgi taşıma ve işleme süreci için ideal görünürler). Sonrasında Watson ve Crick bunun kristal değil, aslında bir asit (DNA) olduğunu kanıtladı.

Bu hikâye aslında sonlanmamış gibi görünüyor çünkü kodlama sürecinin bir bölümü fazladan bilgi taşıyan kristal benzeri bir yapı tarafından yürütülüyor da olabilir. Diğer bir söyleyişle belki de bilgi sadece DNA ile değil, başka bir şeyle de taşınıyordur; yani DNA hayatı çoğaltmak için gerekli tüm biyolojik bilginin taşıyıcısı değildir. Bunu biliyoruz çünkü bakterilerin, kurbağaların, insanların ve tüm yaşayan canlıların ilgili DNA içerikleri aşağı yukarı aynıdır. Aşağı yukarı (sadece!) 20.000 gen, yaşayan herhangi bir canlıyı oluşturmaya yeter. Ancak insanlar bakterilerden daha karmaşıktır ve bu yüzden de her iş DNA'da bitiyor olamaz. Belki de Schrödinger hâlâ bir nebze haklı, ancak bu farklılığın nereden kaynaklandığına dair elbette başka rakip teoriler de var.

Tüm bunların ötesinde DNA'nın nereden geldiği sorusu hâlâ duruyor. DNA'nın evrildiği daha basit bir yapı var mı? Schrödinger'in biyolojik hayatın kristallerle kodlanmasıyla il-

gili teorisine geri dönelim. Kristaller DNA'dan daha basit yapılardır ve doğada daha çok kendiliğinden oluşurlar. Birçok teorinin mücadele verdiği bu yarışta, DNA'nın evrimine dair bakış açısı kazandırabilirler. Kristallerin yaratılabileceklerini ve kendiliğinden çoğalabileceklerini kabul etsek bile, hayatı çoğaltmak için gereken bilginin kristalden DNA'ya nasıl geçtiği sorusu hâlâ peşimizi bırakmıyor. Bu fikir yeni değildir. 40 yıl önce Alexander Graham Cairns-Smith sunduğu fikir, biyoloji de oldukça sıcak bir tartışma alanı olmayı sürdürüyor.

Tüm sorunsallar son derece ilginçse de kesin çözümleri burada önemli değil. Önemli olan ve gelecekte biyoloji alanında gerçekleşen herhangi bir gelişmede kesinkes yaşanacak olan şey, hayatın kökeninin bilgiyle kavranabileceği ve hayatın kalıcılığının bilgiyi ne denli açıklayabildiğimize bağlı oluşudur.

Kitabın ilk bölümünde *creatio ex nihilo* bağlamında incelediğimiz üzere esas soru şuydu: Neden her şeyden önce bilgi var? Hayatın eşlenmesi için dört ana bileşene ihtiyacımız olduğunu gördük; protein sentezleyen makine, M, DNA Xerox kopyalayıcısı X, denetim birimi olarak hareket eden enzimler C ve DNA komut dizisi I. Halihazırda çok karmaşık görünüyor, peki bu karmaşıklık hiçlikten nasıl başladı?

İfadeyi "bilgi yokluğundan biyolojik bilgiye" şeklinde düzenlersek belki biraz daha anlamlı gelir, ne dersiniz? Bilimde "Evren neden böyle?" sorusunu, "Eğer böyle olmasaydı, onu gözlemlemek için burada olmazdık" şeklinde cevaplayan antropik[24] bir ilke vardır. Ancak yine de bu bir cevap gibi görünmüyor. Son bölümlerde bu konuyla mücadeleye devam edeceğiz.

---

24 Antropik ilke: İnsani ilke. Fizikte ve kozmolojide antropik ilke özellikle astrofizik ve kozmolojideki fiziksel ve kimyasal teorilerin dünyada yaşam olduğunu ve yalnızca tek bir yaşam formunun, Homo Sapiens'in rasyonaliteye ulaşmış olduğunu dikkate alması gerektiğini söyleyen pek çok önermenin ortak adıdır. Evren bizi var edecek şekilde tasarlanmıştır görüşü savunulur.

Anahtar Noktalar

- Kendini eşleyen herhangi bir mevcudiyet şu bileşenlere ihtiyaç duyar: evrensel yapıcı bir makine M, bir denetim birimi C, bir kopyalayıcı X ve bu üçünü inşa etmek için gereken komutlar seti I. Bu bileşenlerle kendini sonsuzca eşleyen bir mevcudiyet yaratmak olasıdır.
- Canlı sistemlerde komutları (I) muhafaza etmekle sorumlu makromoleküle DNA denir. DNA dört baza sahiptir: A, C, T ve G. DNA hücrelerimizin içinde eşlenirken, her bir baz kendine belirli bir partner bulur.
- Bazların aminoasit zincirlerini biçimlendirme süreçlerinde muazzam bir artıklık bulunur. Bu bir hata düzeltme yöntemidir.
- DNA'nın dijital kodlama mekanizması, mesajın aslına en uygun biçimde iletilmesini garantiler.
- Doğal seleksiyonla oluşan rastlantısal mutasyonlar zorunlu olarak canlılığın karmaşıklığını artırır.
- Öncül bir biyolojik bilgi olmadan biyolojik bilgi yaratma süreci *creatio ex nihilo* sorunsalına bir başka örnektir. Doğal seleksiyon bize biyolojik bilginin nereden geldiğini söylemez, sadece nasıl nakledildiğiyle ilgili bir çerçeve sunar.

5

Murphy Yasası: Bunun Başıma Geleceğini Biliyordum

Hayat şu an öyle dinç ve dirençli görünüyor ki bir gün nasıl sona ereceğini hayal etmek zor. Peki biz kendi yazgımızın efendisi miyiz? İncelikli genetik mühendisliğiyle birleşmiş biyolojik bilginin sağlamlığını yanımıza aldığımızda doğanın bize yolladığı her türlü çevresel koşula adapte olabiliyor muyuz? İstisnai bir *force majeure*[25] dışında (ki yapıp edilenlerin karşılığının geri ödemesi de bir şekilde garanti değildir) hayatın sonlanacağı başka bir koşul var mıdır?

Hayatın işlevselliğini sürdürmesini sağlayan enerjinin bitip bitmeyeceği konusu en güncel ve en ilginç tartışmalardan biridir. Peki ama hayatın enerjisinin tükenmesi nasıl mümkün olur ve bu gerçekten ne anlama geliyor? Yalnızca güneşin sönmesinden ya da doğal kaynakların tükenmesinden mi söz ediyoruz? Evet hayat gelecekte evriliyor ancak temel yakıtı olmadan nasıl devam edeceğini zihnimizde canlandırmamız çok zordur. İşte bütün mesele bu! Güneş sönerse biraz perişan olacağımız kesin gibi geliyor. Ancak bana göre bu

25 Fr: Büyük güç. Tanrının eylemi.

varsayım tamamen yanlıştır. Evrende ne olursa olsun gün sonlandığında total enerji daima korunur ve bu kalan enerjiyi işlemek tamamen bizim becerimize kalır. Çözülmesi gereken sorun da budur. Güneşin sönmüş ya da doğal kaynakların tükenmiş olabilir ancak aynı enerji evrende halen var olmaya devam eder. Zorlayıcı olan da bu enerjiyi kullanmanın farklı yollarını bulmaktır.

Bu bölümde ileri süreceğim argüman şu olacak: Hayat paradoksal biçimde yakıttan mahrum kaldığında sonlanmaz, ancak daha temelinde aşırı dozda "bilgiye" maruz kalmaktan dolayı sonlanır (yani doyma noktasına vardığında ve artık daha fazla bilgi işleyemediğinde). Daha fazla bilgiyi özümseyemeyeceğimiz durumları hepimiz deneyimlemişizdir. Ancak soru şu: Bu ölümcül mü?

Öldüğünüzde mezar taşınızda ne yazmasını isterdiniz? Genelde insanlar kendileri için öyle anlamlı, büyük laflar yazılması için güçlü arzular duymazlar, ancak yakınları, aileleri, arkadaşları ve akrabaları kayıplarının hatırasına mezar taşına bir şeyler yazmak isterler. Mezar yazıtları sıklıkla kişinin yaşadığı zamanki halinin kısa bir tanımından ve çok ama çok özleneceklerini belirten bir ifadeden oluşur. Sonuç olarak mezarlıklar yaşayanlar içindir, ölüler için değil.

Belki siz de aynı şeyi düşünüyor; sizi görmeye ve hürmet sunmaya gelen canlılar için ortamın ağırlığını hafifletmek istiyorsunuz. Eğer mezarınıza çiçekler getirirlerse, orijinal bir mezar yazıtıyla en azından onları şaşırtmayı düşünüyorsunuz. Bu nedenle belki de nükteli ve eğlenceli bir şeyler yazarak son istirahat yerinizin etrafına toplanmış kalabalığı eğlendirmek de istiyorsunuz. İngiliz tiyatro yazarı George Bernard Shaw da aynı fikirdeydi, bu yüzden mezar taşına "Bunun başıma geleceğini biliyordum" yazdırdı.

Shaw'ın kaçınılmaz ölümünü bilişi fizikte termodinamiğin

ikinci yasası yoluyla yinelenir. İkinci yasanın Shaw kadar eğlenceli olmadığını itiraf edeyim ve fakat yasa bu nosyonu çok daha temel ve geniş ölçüde uygulanabilir bir yolla sunar.

Termodinamiğin ikinci yasası fizik terimleriyle bize şunu söyler: Bir sistem maksimum düzensizliğe ulaştığı zaman, kendi tükenişine de ulaşır (mesela üstesinden gelemeyeceği kadar bilgi içerdiği zaman). Buna bazen (eğlenceli bir şekilde) termal (ısıl) ölüm de denir ki aslında aşırı bilgi yüklemesi diye adlandırılması daha doğru olur. Bu maksimum düzensizlik hali, hayat artık cansız evrenin geri kalanına etkin bir şekilde dahil olduğunda meydana gelir. Hayatın artık evrilecek kapasitesi yoktur ve tamamen çevrenin merhametine kalmıştır.

Termodinamiğin ikinci yasası bize sadece sistemin maksimum düzensizliğe ulaştığında öldüğünü söylemez, ayrıca *her* fiziksel sistemin kaçınılmaz olarak kendi maksimum düzensizliğine doğru gitmeye eğilimli olduğunu da ileri sürerek afallatır. Ancak hayat karmaşık fiziksel bir sistemdir, öyleyse bu ikinci yasa bize hayat hakkında ne söylüyor? Söylediği şey şu: Yaşam, yani evrendeki en sağlam süreçlerden biri, eninde sonunda sonlanmak zorundadır –nihayetinde ölüm kaçınılmazdır!

Sıradaki soruysa şu: İkinci yasadan ne kadar emin olabiliriz? Yaşam bize sonsuza kadar çoğalabileceğini, ikinci yasaysa her fiziksel sistemin er ya da geç termal ölüme ereceğini söylüyor. Peki bu iki fikir tam olarak birbirlerinin karşıtı gibi durduklarına göre kim haklı?

Bu soruya cevap verebilmek için bilimin en temel yasalarından biri olan ikinci termodinamik yasasını bir parça renklendirmek yerinde olacak. İşin aslı bilim insanları ikinci yasanın temellerine öylesine güveniyorlardı ki büyük İngiliz felsefecisi Bertrand Russell da bu konuda bir şeyler söylemek zorundaydı:

> İnsanoğlu varıyor olduğu sona dair hiçbir öngörüyü barındırmayan nedenselliklerin ürünüdür; insanın kökeni, gelişimi, umutları ve korkuları, aşkları ve inançları yalnızca atomların rastlantısal bir araya gelişlerinin sonucudur; hiçbir ateş, hiçbir kahramanlık, hiçbir düşünce ve his yoğunluğu bireyin hayatını mezardan öte muhafaza edemez; tüm zamanların o bütün emekleri, bütün o fedakârlıklar, o ilhamlar, insan dehasının tüm o gün ışığı parlaklığı, güneş sisteminin uçsuz bucaksızca ölümüyle yok olmaya yazgılıdır ve insanın tüm kazanımlarının o tapınağı, yıkıntılar içindeki evrenin enkazına gömülmeye mahkümdur–tüm bunlar tamamen tartışma götürmez olmasa da, yine de neredeyse kesindir ve bunları reddeden hiçbir felsefe ayakta kalmayı umut edemez. Bundan böyle sadece bu gerçeklerin darağacı üzerinde, sadece bu aman vermez ümitsizliğin sağlam temeli üzerine güvenle kurulabilir canın sağlam meskeni.

Russel'ın (bir nefeste on bir satırlık bir paragrafta) söylediği şey şuydu: Karmaşanın artışı öylesine kesindir ki, ona mümkün olduğu kadar çabuk alışmak zorundayız. Hiçbir ciddi filozof bunu görmezden gelemez. İkinci yasayla çelişen fikirlerimizin pek de doğruluk şansı bulunmuyor, onun güçlü pençelerinden kaçabileceğimizi sanıyorsak, yalnızca kendimizi kandırıyoruz demektir.

Aklıma gelmişken, Russell'ı biraz kötümser bulduysanız, Alman filozof Friedrich Nietzsche'yi okumalısınız. Gerçekten de Nietzsche tüm felsefesini, fiziğin hayatın nihayetinde manasız olduğu ve eninde sonunda yok olması gerektiğini belirten öncülü üzerine kurdu. Öyleyse mutlak süreç fikri (mükemmelliğe giden süreç fikri) hayatın evrimini destekleyen fikirlerden biri değil, sadece bir illüzyondu. Nietzsche için bu sonuca katlanmak öylesine zordu ki "üstinsan" kavramını kurma ihtiyacı hissetti. Üstinsan, insanın gelişmiş bir sürü-

müydü ve yaşamın mutlak sürece ulaşamayacağı gerçeğiyle uzlaşabiliyordu. Ancak ne acıdır ki Nietzsche bu üstinsanın temel niteliklerini taşımıyordu. Hayatının son on bir yılını hayatla mücadele etmekten aciz bir şekilde bir akıl hastanesinde, kırgınlık ve yalnızlık içinde geçirdi. Tarihin en büyük düşünürlerinden biri için son derece hüzünlü bir son.

Fakat bilim insanları kılı kırk yaran varlıklardır. Her ne kadar Russel'ın ve Nietzsche'nin argümanlarının bir ağırlığı olsa da ve bir felsefecinin bakış açısından mantıklı görünseler de, bilim insanlarının gereksindikleri şey ikinci yasanın nicel ispatıdır. Bizler bir şeyi ancak matematiksel olarak niceleyebildiğimizde, onu güvenle test edebilir, doğrulayabilir ya da yanlışlayabiliriz.

Öyleyse ikinci yasayı matematiksel olarak nasıl tanımlayabiliriz? Fizik ikinci yasanın matematiksel formülünü "entropi" denen bir nicelik üzerine temellendiriyor. Shannon bilgi fonksiyonunu adlandırması için Neumann'a başvurduğunda Neumann bu niceliği önermişti (Bölüm 3). Entropi bir sistemin düzensizliğini ölçen niceliktir ve çoklu olasılıkların bulunduğu her türlü koşula uygulanabilir. Fizik, sistemin kapsayabileceği tüm olası durumlara bakarak entropinin matematiksel formülünü sunar. Bu durumların her biri, deneyimlerden ya da bazı temel ilkelerden çıkarsanabilecek belirli bir olasılıkla oluşacaktır. Sonra bu olasılıkların logaritması alınır ve sistemin total entropisi bu logaritmanın doğrudan bir fonksiyonu olarak bize düzensizliğin derecesini verir:

$$S = k \log W$$

Fizikçiler entropi kavramını kullanarak ikinci yasayı, *kapalı bir sistemin entropisi daima artar* ilkesine uyarlarlar. Bu ilke bilimin en temel yasalarından biridir ve pratikte evrendeki

her şey için son derece derin ve geniş çaplı önem taşır. Aslında evreni dahi kapalı bir sistem olarak düşünebilirsiniz ve bu anlamda ikinci yasa bize entropinin daima yükseldiğini, yani daima daha da düzensiz hale geldiğini anlatır.

Fizikçiler tarafından türetilen bu entropi, Shannon tarafından türetilen bilgi-teorili entropiyle aynı forma sahiptir. Shannon kendi entropi kavramını herhangi bir iletişim kanalının taşıyabileceği bilgi miktarını iletme adına türetti. Yani aynı şekilde biz de fizikçilerin entropisine, kapalı bir sistemin bilgi içeriğini niceliyor olarak bakabiliriz. Böylece ikinci yasa basitçe şunu söylüyor: Sistem maksimum bilgi durumuna, yani artık daha fazla bilgi içeremeyeceği bir noktaya doğru evrilmektedir. Bu ifade bizim internet kullananlara oldukça aşina olmalı. İnternet bağlantımız bant genişliği sınırına yaklaştığında tarayıcımız yavaşlar ve bazen bu yavaşlık son derece fazlalaşır. Bu bölümde daha önce tartıştığımız aşırı doz bilgi yüklemesiyle karşılaşıyoruz.

Popüler bilim dergisi *Spiked* bir araştırma için fizik dalında tarihin en müthiş keşfinin ne olduğunu bana sorduğunda cevabım derhal Boltzmann'ın $S = k \log W$ formülü olmuştu. Modern fiziğin kurucularından olan Ludwig Boltzmann'ın bu formülü dünyayı makroskobik (iriölçekli) ve mikroskobik (miniölçekli) kavrayışlarımız arasındaki bağlantıyı kurar. S bir sistemin entropisidir ve sistemin ne denli düzensiz olduğunu gösterir. Bu, sistemin makroskobik niteliğidir. W farklı mikroskobik durumların sayısıyla ilgili bilgi verir ve k ise Boltzmann'ın ikisini birleştirmek için türettiği bir sabittir. Boltzmann'ın formülü tüm makroskobik irfanı, bazı temel mikroskobik fizik yasalarına indirgeyebileceğimizi en azından ilkesel olarak gösteriyor. Bu yaklaşım ve felsefe "indirgemeci" felsefe olarak adlandırılır.

Görünen o ki Boltzmann'ın ailesi de aynı şekilde düşünü-

yordu ve mezar taşına bu basit entropi formülünü yazdırdılar. Boltzmann formülü 1870 yılında, otuz yaşlarındayken keşfetmişti. Entropinin zamanla, ta ki maksimum noktaya ulaşana dek büyüyeceğini ve bunun termodinamiğin ikinci yasasını kesinkes ifade etmenin bir başka yolu olduğunu iddia ediyordu. Onun zamanında bu görüş ihtilaf yarattı ve en yakın ve en saygıdeğer meslektaşları bu görüşüne ve diğer başka görüşlerine sert şekilde muhalefet ettiler.

Zamanımızın diğer büyük düşünürleri gibi Boltzmann'ın sonu da alışılagelenden zor oldu. O zamanlarda hüküm süren bilimsel yapılanmanın baskısı Boltzmann'ı intihara sürükleyen faktörlerden biriydi. Ayrıca yine intihar eden Paul Ehrenfest ve aklını yitiren Robert Mayer var. Bu yüzden buraya bir feragatname kondurmak yerinde olacak: Okuyucu ikinci yasa hakkında yazılanları okumaya devam etmeyi istiyorsa, risk alıyor demektir ve ben hiçbir sorumluluk kabul etmiyorum.

Boltzmann'ın mezar taşı yazısı aslında Shaw'ınkinden pek de farklı değildi. Shaw'ınki gibi "Bunun başıma geleceğini biliyordum" yazacağına, "Entropimin er ya da geç maksimuma varmak durumunda olduğunu biliyordum" yazıyordu. (Elbette fizikçiler tiyatro yazarları gibi nüktedan değillerdir, fakat öte yandan evrenin davranımı hakkında daha derin bir kavrayışa sahip olabilirler.)

Buradaki önemli nokta termodinamiğin ikinci yasasının, esasında termodinamiğin birinci yasası olarak bilinen enerji korunumu ilkesiyle karıştırılmaması gerektiğidir. İlk yasa enerjinin yoktan var edilemeyeceğini söylüyor. Enerji sadece, elektrik enerjisinin televizyonunuzdaki görüntü ve sese dönüşmesi gibi bir formdan diğer forma dönüştürülebilir. Çeşitli çevresel konuları tartışırken tartışma ilgili birinci yasa üzerinden yürüyor. Gezegenimiz kömür, petrol ya da doğal

gaz gibi sonlu enerji kaynaklarına sahiptir ve bizler bunları plastik yapmak, arabalarımızı sürmek ya da besinimizi oluşturmak gibi gerekli işler için kullanırız. Güncel kaygılarımız bu kaynakların sonlu olduğu ve eninde sonunda tükeneceği, bunun da belki bizleri yeni kaynakları bulunan bir gezegene göç etmeye mecbur edeceği yönündedir. Ama durun bir dakika! Eğer enerji korunuyorsa neden başka yere gitmek zorunda kalalım ki? Enerjinin bir formdan diğerine dönüştürüldüğüne eminiz, öyleyse yapmamız gereken tek şey onu gerekli enerjiye geri dönüştürmek ve böylece döngünün devam edebilmesini sağlamaktır.

Burada soruyu cevaplamak üzere devreye ikinci yasa giriyor ve haberler o kadar da iyi değil! İkinci yasa bize bir enerji formunu diğerine dönüştürürken bunda mükemmel bir etkinlik sağlayamayacağımızı söyler (mesela; entropi, yani süreçteki düzensizlik derecesi, yükselmek zorundadır). Örneğin arabayı çalıştırmak için her gaz yaktığımızda enerjinin tamamı arabanın hareket etmesi için dönüştürülmez; bir kısmı da ısı ve gürültü gibi daha az gerekli etkiler yolunda harcanır. Aynı şekilde, bütün enerjiyi (egzoz dumanını, arabanın hareketini, çıkan gürültüyü vb.) geri çekip etkin bir şekilde gaza da dönüştürmek mümkün değildir. Bu dönüşüm sürecinde bir kısım enerji mutlak surette kaybolur. İkinci yasa da tamamen aynı şeyi söylüyor: Düzensizlik, sürecin tamamında artmak ve enerji çevrede rastlantısal olarak dağılmak durumundadır. Sonuç olarak çevre (örneğin, gezegenimiz) bu dağılan enerjiyi soğurur (absorbe eder) ve bu da kendini sıcaklıkta artış olarak gösterir. Yani hangi tür enerji kullanılırsa kullanılsın ikinci yasanın zorunlu sonucu başımızdaki bu küresel ısınma olup çıkar.

Aslına bakılırsa ikinci yasa, küresel ısınmadan kaçabilmek için tek güvenli yangın çıkış kapısının hiçbir enerjiyi hiçbir

şekilde kullanmamak olduğunu söylüyor. Burada sadece arabalarımızı kullanmaktan, deodoranlar sıkmaktan ya da denizaşırı seyahatlere çıkmaktan bahsetmiyorum. Yemek yemek kadar zorunlu bir şey yapsanız bile onu işe dönüştürüyorsunuz ve ikinci yasaya göre bu verimsiz ya da yeterince etkin olmayan bir süreç olması itibarıyla kaçınılmaz olarak etrafınızdaki şeylerin ısısını artırıyor. Buna bakıp da daha fazla yiyerek kalorifer tesisatı yerine geçeceğinizi sanmayın. Sıcaklıktaki artış az olsa da, artışın varlığı önemli. Bir insan her bir saniye sıradan bir ampul kadar ısı üretir ancak altı milyar insandan gelen ısı miktarını hesaplarsak ortam bayağı bir kızışır. Bunu önlemenin yalnızca bir yolu var: Hiçbir şey yapmamak (gelin bunu bir de patronunuza anlatın). Yaşamayı bırakırsak küresel ısınma diye bir şey olmayacak, yani en azından insan kaynaklı sebepler ortadan kalkacak (işte olağanüstü çevreci insanlar için çözülecek bir sorun).

Öyleyse bu gezegende mühim olan şey *per se*[26] enerjisiz kalmak değil, bu enerjiyi mümkün olduğunca etkin kullanmanın yollarının tükeniyor oluşudur. Bu konu bugün halen kapsamlı bir şekilde anlaşılamamışken, Boltzmann daha 1886'da olayı ayan beyan ortaya koymuştur: "O halde yaşayan varlıkların varoluşuna dair genel mücadele, her bedende ısı formunda ve ne yazıktır ki dönüştürülemez halde bolca bulunan enerji için savaş vermek demek değildir. Aksine savaş, sıcak güneşten soğuk dünyaya doğru akan enerjinin akışındaki mevcut entropi uğrunadır. Bu enerjinin hakkıyla kullanılması için bitkiler yapraklarının devasa arazilerini güneşe sererler ve güneş batıp da sıcaklık yerküremizin sıcaklığına düşmeden önce halen keşfedilemeyen bir süreç yoluyla bu enerjiyi içlerine çekip kullanırlar. Yani bizim laboratuvarları-

26 Yalnızca, haddi zatında.

mızda henüz kimsenin en ufak bir tahmin bile yürütemediği bir kimyasal sentezi gerçekleştirirler."

Peki öyleyse daha yüksek entropisi olan bir çevre derken tam olarak neden bahsediyoruz? Entropinin bir sistemin rastlantısallığını nicelediğini hatırlayalım. Her fiziksel sistem atomlardan oluşur ve daha fazla rastlantısallık atomların daha fazla hareket ve sistem içinde yer kaplamalarını sağlayan daha fazla pozisyon demektir. Bu durum kaçınılmaz olarak sistem içindeki çarpışmaları da tetikler ve sıcaklığı yükseltir. Oturduğunuz odayı daha sıcak hissetmeye başladıysanız, sebebi daha hızlı hareket eden atomların size çarparak enerjilerini size aktarmalarından kaynaklanır. Soğuk bir odada ise tam tersi geçerlidir. Hızlı hareket eden atomlar daha az sayıdadır ve bu da totalde daha az enerji aktarımı demektir, yani o odada üşürsünüz. Fizikte bu ilke atomların nitelikleri incelenirken son derece önemlidir, çünkü yüksek sıcaklıklarda neler olup bittiğini görmek zordur. Atomlar hareket edip dururlar ve hızla birbirlerine çarparlar. Bu yüzden atomları yavaşlatıp, davranışlarını daha kolay seçmek için ortamı soğutmamız gerekir. Elbette bu tip çalışmalarda ortamı soğutmaktan kastımız sıcaklığı birkaç derece indirmek değildir; fiziksel olarak mümkün olduğu kadar soğutmaktır (mutlak sıfırın yaklaşık olarak birkaç milyar derece altına inmek gibi).

Fiziğe göre yerkürenin ısınmasını engelleyemeyiz ancak bu ısınma süreci üzerindeki etkimizi kontrol edebiliriz ve bence etmeliyiz de. Elbette yapacaklarımız da, yükselen sıcaklığın oranını büsbütün değilse de (popüler inanışın tersine) kaçınılmaz olarak etkileyecektir. İdeal olan bu oranı kontrol altına alarak, sıcaklık artık katlanılmaz bir noktaya geldiğinde hayatımızı devam ettirmemizi garantileyecek bir strateji geliştirmektir. Bu strateji yerküreyi tahliye edip evrenin başka bir bölgesinde kolonileşmek de olabilir. Göçün kaçınıl-

maz oluşu düşünüldüğü kadar mantıksız değildir. Düşünün, gezegendeki beş derecelik bir sıcaklık artışı bile her iki küredeki buzul başlıklarının erimesi ve akabinde deniz seviyesinde artış ve büyük kara kitlelerindeki ciddi azalmayla sonuçlanacak. Hava koşullarındaki dramatik değişimlereyse burada girmek dahi istemiyorum.

Çevreciliğin bütün derdi bizi tür olarak yok edecek olan şeyin ikinci yasa değil, birinci yasa olduğunu garantilemektir (kaynama noktasına ulaşmadan önce doğal kaynaklarımızın tükeneceği gibi örneğin). Bununla birlikte bir fizikçiye göre ikinci yasa daha kaçınılmaz ve tutarsızlığı da yok. Oysa birinci yasada en azından farklı enerji formlarını kullanma yollarını bulmak için savaşmak gibi bir şansımız var. İkinci yasa gerçekten de çok hızlı bir katil olabilir (zaman cetveline göre halihazırda yüzlerce yıldır çalışıyor), oysa birinci yasayla biraz daha (milyonlarca yıl daha) devam etme şansımız var gibi duruyor. Sonuç olarak bu gezegende sonsuza kadar yaşamak gibi bir ümit boş bir hayalden başka bir şey değil. Canlı türleri olarak eninde sonunda buradan ayrılmak zorundayız. Er ya da geç evimizi terk edeceğiz.

Elbette son derece karmaşık bir sistem olan gezegenimizin ortalama sıcaklığı tarih boyunca bir indi bir çıktı. Bunun sebebiyse çeşitli "yerel" etkilerdir. Örneğin yerküre son 10.000 yıldır olağandışı bir şekilde sıcak ve görünen o ki insan türlerinin diğer zamanlara göre böylesine etkin gelişim göstermesinin ana nedenlerinden biri de budur.

Daha gelişmiş bir toplumun daha fazla enerji tüketeceği fikri pek de şaşırtıcı gelmiyor. Kişi başına düşen gayrisafi milli hasılayı bir toplumun gelişmişlik ölçütü olarak alırsak, pek yakın zamanda (2006) yapılan bir çalışma, gelişme derecesiyle toplumun enerji tüketimi arasında güçlü bir bağıntı olduğunu gösteriyor. Listenin başında Amerika'yı hemen peşinden

Japonya, Avustralya, İngiltere, Fransa ve Kanada takip ediyor. Tüm bu uluslar dünya ortalamasının epeyce üstündeler. Diğer yandan listenin en aşağılarında dünya ortalamasının altındaki Arjantin, Brezilya, Çin, Güney Afrika ve daha pek çok gelişmekte olan ülke bulunuyor. İkinci yasaya göre daha fazla enerji tüketimi sıklıkla daha büyük bir entropi artışına işaret ediyor. Yani böylece bu bilgi vasıtasıyla sadece karbondioksit salınımına odaklanmadan, tek bir kişinin küresel ısınmaya yaptığı katkının da başka bir (ya da daha iyi bir?) göstergesini yakalamış oluruz. Bu analizde parlayan yıldızımız Amerika'nın neredeyse iki katı kadar etkin olan (aynı şekilde gelişmiş fakat yarısı kadar enerji tüketiyor oluşu bağlamında) Japonya'dır. Peki enerji (ya da entropi) etkinliğimiz doğrultusunda global bir vergi ödeme konusunda ne düşünürsünüz? Belki de küresel pazarı entropi ticaretine çağırıyoruz? Pekâlâ, çılgınca gelse de pek de kötü bir fikir değil. Her neyse millet, zaten bunu ilk olarak burada duyuyorsunuz!

Genetik olarak konuşacak olursak insanlar son 150.000 yıldır neredeyse aynı özyapıyla var oluyorlar. Genetik bilgiyi kullanarak kökenlerimizin ilk izlerini Afrika'da bir yerlerde bulabiliyoruz ancak bundan 10.000 yıl önceki zamanlarda iklim çok sertti, sıcaklıklar daha düşüktü ve insanlar hayatta kalabilmek için durmadan yer değiştirmek zorundaydılar. Bu koşullarda yer değiştiriyorsanız akran gruplar arasındaki iletişimleri geliştirmek ve kültürü yaymak için gereken temel araçları yapılandırmak da zordur. Bu tip senaryolarda ilkel yaşam dürtülerinin hüküm süreceği açıktır.

Tüm bu dalgalanmalara rağmen ikinci yasanın gezegen için belirlediği trend termal bir ölüme doğru meyilli olmaktır. Güneş, yerküre ve diğer gezegenler aynı sıcaklığa gelene kadar soğuyacak ve termal ölüm gerçekleşecek, ancak astrofizikçiler uygulamada bu olay olmadan önce güneşin patlayıp

kırmızı bir dev olacağını ve diğer tüm gezegenleri yok edeceğini söylüyorlar. Tabii tüm bunlardan sonra herhangi bir yaşam türünün süreceğini düşünmek de zor oluyor.

Dikkati yüksek okuyucu şimdi de bu noktada şiddetli bir kafa karışıklığının pençesine düşüyor. Fizikteki entropi eğiliminin düzenden (düşük entropi) kaosa (yüksek entropi) doğru gitmek yönünde olduğu görülebiliyor. Öte yandan biyolojide yaşam düzeni üretiyor ve yaşayan varlıkların eğilimi giderek daha az kaotik ve daha çok düzenli (karmaşık) olma yönünde. Bu iki eğilim birbiriyle çelişiyor mu? Yoksa hayat termodinamiğin ikinci yasasını çiğnemeye mi çalışıyor? İkinci yasanın keşfedilişinden beri bu sorular sıcak tartışma konusudur.

Öte yandan ikinci yasanın yaşamla aynı safta olduğunu da iddia edebiliriz. Daha önce genetik kodun evrimle birlikte daha karmaşık hale geldiğini ve dolayısıyla Shannon'a göre daha fazla bilgi biti gerektirdiğini, yani daha yüksek entropisi olduğunu konuştuk. Bu nedenle fizikteki entropi, ikinci yasaya göre artarken Shannon'a göre de genetik kodun entropisi artmaktadır. Peki öyleyse genetik koddaki bu entropi artışı ikinci yasayla bağlantılı mı? Gerçekten de bırakın ikinci yasanın yaşamın karşısında olma ihtimalini, acaba yaşam bu yasanın basit bir sonucu mu?

Yaşam, çevresinin entropisini artırma yoluyla kendi entropisini düşük düzeyde tutar, görüşüyle ilgili ikna edici savlar üreten ilk kişi Schrödinger'dir. Elbette bu iddia genomun zamanla karmaşıklaştığı gerçeğine ters düşmez. İşin aslı çevreden daha iyi istifade etmektir ve belki kendinizi daha düşük entropili bir hale getirmek için daha karmaşık bir genoma ihtiyacınız var. Schrödinger yaşamın kendini daha düşük bir entropi düzeyinde tutmasıyla ilgili fikirlerini *Yaşam Nedir?* isimli hoş ve küçük kitabında izah etti. Aynı kitapta be-

sinlerin içerdiği enerjinin yanı sıra (örneğin bir adet Mars çikolatasının kalori miktarı), entropi içeriklerinin de belirtilmesi gerektiğini ileri sürdü. Marketten bir Mars çikolatası aldığınızda etiketinde beş birimlik entropi artışı sağlayacağını yazdığını hayal edin. Bu aslında ne anlama gelir? Enerji söz konusu olduğunda Mars çikolatası yiyerek uzun süre yaşayabiliyorsunuz ancak vücudunuzu düzenlilik halinde tutmak (düşük entropi) için gereken önemli bilgiyi gözden kaçırıyorsunuz. Besindeki önemli bilgi ne denli azsa, entropi içeriği de o kadar yüksek olacaktır demek burada gayet uygun olacak.

Kuşkusuz vücudun tüm entropisini düşürmek adına diğer besinlerle birlikte yüksek entropili besinler de formüle edilebilir. Elbette böylece dengeli bir beslenme düzeni de oluşmuş olur. İşte yine burada da ikinci yasanın hâkimiyetini görüyoruz; vücudunuzu yüksek derecede düzensiz bir halde dejenerasyona maruz bırakacak ve en iyi ihtimalle sizi işlevsiz hale getirmek suretiyle muhtemelen eninde sonunda sizi öldürecektir! Birkaç ay boyunca yalnızca McDonalds'dan yemek yiyen Morgan Spurlock[27] bu görüşe yürekten destek verecektir (bununla birlikte ikinci yasaya göre, aynı enerjiye denk düşen miktarda karnabahar yeseydi de aynı etki oluşurdu. Çünkü aynı şekilde düzensiz bir beslenme profili olacak ve yine entropisi artacaktı. Konunun enerji değil de entropi olduğunu örneklemek adına belki de ilk filmimin adını *Süper-Karnabahara Boğ Beni* koymalıyım, ne dersiniz?).

Tüm bunlar bizi en iyi besinler, içerdikleri belirli enerji değeriyle o vücuttaki en düşük entropi artışını sağlayan besinlerdir sonucuna götürüyor. Şimdi kendimi biraz daha ateşe atarak bir besinin entropi değerinin, onun hem gıda değe-

27 Amerikalıların fast-food saplantısını konu alan *Supersize Me* adlı filmin yapımcısı. Bir ay boyunca sadece McDonalds yediği için, fazlasıyla kilo almış, kolesterolü tavana vurmuş ve karaciğeri de neredeyse bitmiş.

rinin oranı hem de gıda değerlerinin biyo-elverişliliği bakımından besinin bütünlülüğüyle ilintili olduğu kestirimini yapacağım. Yani ikinci yasa diyor ki, aynı enerjiyi harcayıp tüm entropi üretiminizi minimize eden besin türü en iyi besin türüdür. Bu da bir başka hararetli ve tam yerine oturan bir tartışma konusu ve eğer uygun bir çözüm bulabilirsem ayrıntıları *Profesör Vedral'ın Diyet Devrimi* isimli kitabımda okuyabilirsiniz.

Günümüzde aksi ispatlanmış da olsa, ikinci yasaya karşı ileri sürülen bir iddianın yüzyılı aşkın süre geçerliliğini koruması şaşırtıcıdır. İddia James Clerk Maxwell tarafından 1867'de ortaya atıldı. Maxwell, bugün Maxwell'in şeytanı olarak adlandırdığımız ve ikinci yasaya zarar verecek kadar zeki olan hipotetik bir yaratık postulat etmişti. Evler, sandalyeler ve dağlar gibi dirimsiz (cansız) nesnelerin ikinci yasayla her durumda uyumlu olduğunu ve zamanla kötüye gittiklerini ancak zekâ yoluyla bu durumdan belki de kurtulabileceğimizi iddia ediyordu. Bu şeytan herhangi bir verimlilik ve etkinlik kaybına neden olmadan ısıyı işe dönüştürebiliyordu. Ancak bu durum ikinci yasayla taban tabana zıttı. Bu şeytancık zamanın fizikçilerini fazlasıyla kaygılandırdı ve fiziğin temellerini sarsmaya başladığı düşünüldü. Diğer yandansa haberler insanlık için mükemmeldi, çünkü işin, enerjiden sıfır maliyetle çıkarılması söz konusuydu.

Maxwell'in marifetli fikri öylesine basit ve öylesine ilkesel ki kitabın kalan hemen her bölümünde kullanılabilir olacak. Oturma odanızda havada bulunan atomlar maksimum düzeyde düzensizleşmiş dirimselliği olmayan bir sisteme örnektir. Bu atomlar saniyede 500 metre gibi sersemletici bir hızla odanın duvarlarına ileri geri çarpıp durarak vın vın dolaşırlar. Odanız beş metre uzunluğundaysa (ki bu ortalama büyüklüktür), her bir atom yalnızca bir saniye içinde ileri geri

giderek duvara tam 100 kez çarpar. Takdir edersiniz ki biraz hızlı görünüyor.

Atomlar kimileri aşağı yukarı, kimileri öne arkaya gitmek suretiyle tamamen düzensiz vaziyette hareket ederler. Eğer hesaplasaydınız entropilerinin büyük ihtimalle maksimumda olduğunu yani belirli bir verili enerjiyle bu atomların devinimlerinin bundan daha düzensiz olamayacağını görürdünüz.

Maxwell'in imgelediği şey moleküler derecede küçük bir yaratıktı –öyle küçüktü ki çıplak gözle göremiyorduk. Fakat bu yaratık moleküllerin aksine ortamda gezinen atomların hızlarını ve yönlerini gözlemleyebiliyordu. Hatta sadece gözlemlemeyip, zekâsını gönlü nasıl isterse öyle de kullanıyordu. Şeytan, odanın ortasında duruyor ve kendisine yaklaşan hızlı bir atom gördüğünde bir trafik polisi gibi hareket edip, hızölçerini kullanarak onu odanın bir tarafına yolluyordu. Ancak atom yavaş hareket ediyorsa onu da dosdoğru odanın diğer yanına yolluyordu. Ayrıca bu yönlendirmeler atomların hızını etkilemeden yapılıyordu.

Bu süreç yavaş hareket eden molekülleri bir yana, hızlı hareket eden molekülleri bir yana ayırıyordu. Diğer bir söyleyişle öncesinde son derece düzensiz olan bir sistemi bir tür düzene hem de hiç enerji harcamaksızın sokabiliyordu. Maxwell, şeytanın yapması gereken tek şeyin hesaplamak ve düşünmek olduğunu gösterdi, diğer yaptığı eylemler herhangi bir enerji israfı olmadan gerçekleşebilirdi.

İkinci yasaya göre düzensizlikten düzen yaratmak mümkün değil! Düzensizlik daima artar ve sürüp gider. Şeytanın odanın içindeki atomları yönetmesi oda sıcaklığındaki dengesizlik olarak kendini gösterir. Yavaş hareket eden atomların olduğu tarafı diğer tarafa göre daha serin hissederseniz ve eğer sıcaklık farkı varsa iş yapmak için kapasitemiz de vardır, bu ise bedava öğle yemeği demektir (maliyetsiz enerji).

Durum böyle olunca da Maxwell endişelendi. Fiziksel nesneler muhakkak ki ikinci yasayla uyumluydu, ancak ona göre yaşam, özellikle zeki yaşam yasayı kolaylıkla çiğneyebilirdi.

İkinci yasa, yalnızca diğer sistemlerle etkileşime geçmeyen kapalı sistemlerde geçerlidir. Fakat hiçbir canlı varlık ıssız bir ada değildir, çevreleriyle enerji ve madde alışverişi yaparlar. Aslında Schrödinger'in varmak istediği nokta da tam olarak buydu. Yaşayan sistemler ortamlarından enerji ve düşük entropi (bilgi) çekerek hayatta kalırlar. Bu yüzden de yaşayan bir sistem düzensizliği azaltmalıdır ve azaltabilir. Ancak bunun bedeli kendi ortamındaki düzensizliğin daima artması olur (buradan yola çıkarak küresel ısınmayı konuştuk).

Yerküre bile kapalı bir sistem değildir –güneşten güneş ışığı formunda enerji alır. Yaşamın evrimi düzensizliği başlı başına azaltan bir şey olabilir ancak sonuç olarak yerküre giderek daha da ısınıyor ve güneş eninde sonunda soğuyacak. Yerküre ve güneş aynı sıcaklığa geldiklerinde, yani termal ölüm noktasına varıldığında, bırakın pratiği teoride bile yaşam diye bir şey mümkün olmayacak. İşte bu da bize yaşamın neden ayakta kalmak için böylesine yaratıcı olduğunu açıklıyor. Sadece Neumann'ın "robotları"; eşlenip çoğalabilen, işleyip çalışan ve nihayetinde çevrelerinden kaçıp kurtulabilen o robotlar bu evrende hüküm sürebilecek.

Şimdi Maxwell'e geri dönelim. Bu şeytan ne, ona nasıl bir anlam vereceğiz? Yukarıdaki tartışmalar düşünüldüğünde böyle bir yapı var olabilir mi? Totaldeki entropiyi düşürebilecek bir şey var mı? Sadece kendi düzensizliğini değil, tüm evrenin düzensizliğini de azaltacak bir şey olabilir mi?

II. Dünya Savaşı'nda atom bombasının yapım sürecinden rol oynayan kişilerden biri olan Macar fizikçi Leo Szilard şeytanın ikinci yasayla ters düşmeyişinin kilit nedeninin bilgi kavramının kullanılışında yattığını fark etti. Basitçe söyleye-

cek olursak, Szilard şeytanın yapmak zorunda olduğu şeyin sadece bir tür basit bilgi formunu işlemek olduğunu anlamıştı. Bir başka deyişle Maxwell'in şeytanının rütbesi "doğaüstü" bir varlıktan, sıradan bir bilgisayara iniyordu. Szilard'ın gözlemindeki önemli nokta şuydu. Şeytan fiziksel bir sistem yoluyla yapılabiliyordu, yani zekâyla ilgili önem taşıyan hiçbir şey yoktu ve şeytan, basbayağı gözü kapalı bir şekilde bir bilgisayar programını takip edebiliyordu (Szilard'ın daha bilgisayarlar icat edilmeden 10 sene önce bu tartışmaları yaptığına dikkatinizi çekerim). Şeytanın fiziksel bir sistem oluşundan çıkan önemli sonuç, ikinci yasa gereğince bu sistemin o ya da bu şekilde ısınmak durumunda olmasıdır. Isı artışı basitçe, şeytanın edindiği bilgiden dolayı entropinin artmasının bir sonucudur. Szilard şeytanı işe koşan şeyin atomlarının hızının ölçülmesi olduğunu düşünüyordu ve iş sonucunda da ısı oluşuyordu. Böylece, şeytanın prensip de dahi var olamayacağını söyleyerek bahsi kapatıyordu.

Daha sonra pek çok başka kişi de bu sonuca vardı. En ilginç adımı da 1960 yılında IBM'de çalışan Amerikan fizikçisi Rolf Landauder attı. Szilard'ı yakından izleyen Landauder sadece şeytanların değil esasında her tür bilgisayarın da çalışırken ısınmak zorunda olduğunu söylüyordu. Tıpkı Maxwell'in şeytanı gibi bilgisayar da çalışırken bilgi işler ve tüm bilgi işleme süreçleri ısı israfına götürür diye düşünüyordu. Yani bilgisayarların ısınması da termodinamiğin ikinci yasası kadar kesindir.

Biz zaten bunu deneyimlerimizden biliyoruz. Eğer PC'nizi ya da dizüstü bilgisayarınızı uzun süre açık bırakırsanız ısındığını fark edersiniz. Bu ısınma etkisi bilgisayarların bilgi işlemesinin zorunlu bir sonucudur ve eninde sonunda gerçekleşir. Hatta bilgisayarlar hesap yaparken maddelerin nasıl ısındığı üzerine küçük bir hesap bile yapabiliriz. Diyelim ki bir

bilgisayar saniyede bir milyar hesap yapıyor. Şimdiki bilgisayarlar her bir hesaplama için bir milyon ana birim ısı üretiyorlar. Sonuç olarak odanız için bazı mantıklı nitelikler konutladığımızda (ve bunu Boltzmann'ın sabiti ve sıcaklığıyla çarptığımızda), tüm bunlar odada bir gün içinde birkaç derecelik sıcaklık artışı meydana getirir. Bu yüzden de bilgisayarlar son derece etkili ısı radyatörüdürler (hatta bazıları ısıtma konusunda hesap yapmaktan daha etkililer).

Peki ama bu sıcaklık artışı her tür bilgi işleme sürecinde mutlaka zorunlu mudur? Enerji kaybına sebep olmayan düzgün, sürtünmesiz ve çok ama çok çevre dostu bilgi işlemcilerimiz olamaz mı? Bu soruya oldukça ilginç bir cevap geliyor.

Eğer bellek uygun şekilde yapılandırılırsa ısı kaybı olmadan ve düzensizlik meydana gelmeden tüm bilgi işleme sürecinin kaydını tutabilir. Ancak bellek dolduğunda işlemin devam edebilmesi için –aşırı doz bilgi olmasın diye– otomatik sıfırlama[28] yapması ya da bazı bilgileri silmesi[29] gerekir. E öyleyse problem yok, "delete" tuşuna basarız olur biter diyebilirsiniz ama işin aslı şu ki delete tuşuna basıp da tüm o bilgiyi unutamayız ve bu da bize eninde sonunda "bilginin hakikaten fiziksel olduğunu" kanıtlar.

Delete tuşuna bastığımızda yaptığımız şey aslında tüm o istenmeyen bilginin çevredeki yerini değiştirmek, yani çevrede keşmekeş yaratmaktır. Bu atığı çevreye yığıvermek doğası gereği çevrede bir entropi artışıyla sonuçlanır ve çevrenin sıcaklığını artırır. Bu sebeple bilgisayarlar küçük fanlarla donatılmıştır. Bilgi sürekli olarak silinirken bilgisayarların bileşenlerinin oluşturduğu sıcaklık böylece uzaklaştırılmış olur.

Landauer'in IBM'den meslektaşı Charles Bennet bu man-

28 İng: Reset.
29 İn: Delete.

tığı yürüterek Maxwell'in şeytanını da mevzudan çıkarmış oldu. Yani şeytan hızı ölçmek için bilgiyi işlese de sonlu bir belleğe sahip olmalıdır ve sürecin devam edebilmesi için bilgiyi er ya da geç mutlaka "delete" etmek zorundadır. Çevredeki bilgiyi, en azından şeytan tarafından görülen iş miktarı yoluyla gelen bilgiyi artıran da, şeytanın belleğinden bilginin silinişidir. Sonuç olarak şeytan mükemmel bir kurulumda dahi ikinci yasayı çiğneyemez.

Landauder ve Bennet'nin çalışmalarından çıkan esas mesaj bilginin soyut bir nosyon değil tamamen fiziksel bir nicelik olduğudur. Hiç değilse bu noktada iş ve enerjiyle eşit durumdadır. Böylece bilgiyi kritik enerji ve madde eşiğine getirmiş olduk. Ancak söz verdiğim üzere bilginin bundan temel olduğunu göstereceğim. Bu kavrayışıma dair ilk kıvılcımı Londra'da lisans yaparken yakaladım. İki sözcükten oluşan "bilgi fizikseldir" ifadesi yeni bir bakış açısı kazandırdı ve araştırma konumun evriliş sürecini de fazlasıyla etkiledi.

İnsan beynini bilgi işleyen bir aygıt olarak alalım. Kafamızın içindeki bilgi ve bu bilginin işlenme hızı halen herhangi bir bilgisayarın kapasitesini aşar (günümüz trendi devam ederse bunun birkaç yıl içerisinde doğru olmayacağını da bir kenara yazın!). Beynimizde on milyar civarında nöron var ve başımız ve vücudumuzdaki elektriksel itkileri hareket ettirmekle sorumlular. Birisi size dokunduğunda, nöronlar dokunmanın gerçekleştiği yerde bir sinyal meydana getirir ve bu sinyal sinir ağları boyunca beyninize (bazen de vücudunuzun başka yerlerine) doğru hareket eder.

Şimdi de her bir sinir hücresinin ya da nöronun sıfır ya da bir olarak bir bit bilgi içerdiğini varsayalım. Bu bit nöronlardaki elektrik sinyalinin varlığı ya da yokluğuna bağlı olarak kodlanır. Örneğin; elektrik sinyali varsa beyin biri, elektriksel sinyal yoksa da sıfırı saptar. Bu oldukça basitleştirilmiş bir

sunum olabilir ama gelin şimdilik böyle yapalım. Kafanızdaki bütün bellek bitlerini tükettiğiniz anda, yeni kayıtlar yapabilmek için öncelikle bir miktar bilgi silmek, yani unutmak zorundasınız. Bu da çevrenizin ısınmasıiıa sebep olur, çünkü bazı anıları başka bir yerlere yığmışsınızdır. Yani enerji gerektiren süreç aslında (affetmek değil) unutma sürecidir.

Okuyucu beynimizin izin verdiği ölçüde tüm belleğimizi kullanarak ne tür bir düzen yaratabileceğimizi merak ediyor olabilir. Sonuç oldukça şaşırtıcı; Bir bardak suyun sıcaklığını bir derece indirebilmek için gerekenden bir milyon kez daha az düzen oluşturabiliyoruz. Bu da evdeki soğutucunun birkaç saniye gibi bir sürede yapabileceği bir şeydir.

Peki öyleyse nasıl oluyor da bir ev bilgisayarı beynimizin hesap yapma gücünün yalnızca küçük bir bölümüne sahipken çevresine bu denli ısı saçıyor? Çünkü beynimiz daha etkin bir bilgi işlemcisidir ve ancak mutlak surette gerekli olduğunda çevresine atıklar yollar. Bir bilgisayar tek hesaplama için bir milyon birim enerji kullanırken beynimiz tek hesap için yüz birim enerji kullanır. Dürüst olmak gerekirse bilgisayarlar yalnızca son 60 yıldır varlar ancak hayat bu oyunda 3,5 milyar yıldır var.

Bölüm 4'te hayatın çekirdeğinin DNA eşlenmesine katışmış bilgi işleme süreci olduğunu ortaya koyduk. DNA'nın yaptığı temel hesap baz çiftlerini eşleştirmektir ve bu eşleşmeler yaklaşık olarak yüz birim enerjiye mal olur. Öyleyse yeni bir DNA dizisinin tamamını yeniden üretmek için gereken enerji yaklaşık bir milyar birimdir. Bu bilgi işleme süreci de çevrenin sıcaklığını yükseltir.

Bahsettiğimiz bu enerji birimleri doğrudan sıcaklığa bağlıdır. Peki ya bu işlem mutlak sıfır derecesinde (yaklaşık –273 santigrat derece) yapılırsa ne olur? Termodinamiğin yanıtı ilginç: Bilgiyi mutlak sıfır derecesinde işlediğimiz takdirde, he-

saplama sırasında ısı yitimi olmayacaktır. Ama gelin görün ki fizik herhangi bir nesnenin bu esrarlı sıcaklığa ulaşmasını engelliyor. Bu da termodinamiğin üçüncü yasası olarak bilinir. Bu yüzden doğayla oyun oynarken kimsenin kazanma şansı yok, yani diyeceğimiz o ki bedava yemek yok. Bilgi sağ olsun, sağduyulu akıl bütün olan bitenden sonra bilimsel bir şekilde hakkını koruyor: "Zahmet yoksa rahmet olmuyor!"

Anahtar Noktalar

- Bir sistemin ne denli düzensiz olduğunu anlatan fiziksel entropi zaman içerisinde yükselme eğilimindedir. Bu durum termodinamiğin ikinci yasası olarak bilinir.
- Fiziksel entropi Shannon entropisiyle yakından bağlantılıdır ve aslında onun bir örneklemesidir.
- Yaşamın artan karmaşıklığı evrendeki düzensizliğin tümden artışıyla şekillenir.
- Düzensizlikten faydalanan sistemlere Maxwell şeytanları denir. Tüm yaşayan sistemler Maxwell şeytanlarıdır ancak bazıları da örneğin bilgisayarlar gibi canlı olmayan şeylerdir. Bilgisayarlar belirli hesaplama görevleri dahilinde işler ve elektrik formunda enerji kullanıp ısı üretirler. Bütün şeytanlar bu şekilde iş görür.
- Sonuç olarak popülasyonunda şeytanların bulunduğu ortamın sıcaklığı yükselir. Bundan dolayı tüm yaşam, tüm arabalar tüm bilgisayarlar da ikinci yasaya göre zorunlu olan küresel ısınmaya katkıda bulunurlar.
- Bilgi soyut bir kavram değildir ve son derece reel fiziksel bir temsille ortaya konabilir.

6

Bahisler açılsın: Kazanmadan Dönmek Yok

Bu bölüme kadar yaşamın nasıl türediğini ve eninde sonunda nasıl sonlanacağını tartıştık ancak çoğumuz için hayat herhalde "başlangıç ve bitiş arasında" yaşananlardan ibarettir. Bu bölümde söz konusu iki aşırı ucun arasında bir yerlerde kalıp anın tadını çıkarmak istiyorum. Başka ne isteriz ki? Benim istediğim şeylerden biri, heyecan.

Her ne kadar heyecan kavramı öznel olsa da işin içinde hep biraz risk olduğunu da kabul edelim. Kesinlik olunca heyecanlanmak biraz daha zordur (bilirsiniz işte, belirlilik durumu hepimiz için sıkıcıdır). Şimdi hayatı seçelim ve onu daha heyecanlı hale getirmenin yollarına bakalım.

1962 yılı, hayallerin şehri Las Vegas. Her gün her dakika milyonlarca dolar kaybedilip kazanılıyor. Şehir cebinde ödünç alınmış parasıyla Nevada Çölü'nü aşıp gelmiş, riske girmeye hazır acemi çaylakların hayalleriyle bezeli. Belki bir milyoner olacak belki de kuyruğunu kıstırıp geri dönecek. Ama bugün farklı bir gün ve şehirde yeni bir kovboy var. Kumarhanelerden birine giriyor, müzik devam, kameralar çalışmakta, kızlar ve şarap emre amade. Şöyle bir etrafı gözlüyor, blackjack masasını seçip en kestirme yoldan oraya doğru

ilerliyor. Şehirdeki en seksi oyun poker, o halde bu adam neden tüm zamanını blackjack masasında harcayacak? Çünkü onun bir stratejisi var ve krupiyeyi alt edeceğini düşünüyor. Cebinde 10.000 doları (1962 yılı için hiç de azımsanacak bir para değil ve bugünün bir milyon dolarına eş) var ve bu adam gerçekten buraya iş görmeye gelmiş.

Oyuna çaylak gibi başlayıp ufak, zararsız bahisler açıyor ve oyun ilerledikçe diğerleri masadan kalkarken o devam ediyor. Yavaş bir stratejiyle ama emin adımlarla ilerliyor gibi görünüyor. Elbette hiçbir kumarhane kazananları sevmez ve böylesine karizmatik ve yöntemli bir şekilde amansız bir randımanla hiçbir şey olmuyor gibi kendi işine bakanlardan da özellikle sakınılır. Kumarhane güvenliği gözlerini adamdan ayırmazken oynama tarzını çözemiyorlar: Bu adam nasıl durmadan kazanıp duruyor? Neden herkes gibi kaybetmiyor? Böylece birkaç saat daha oynamasına izin verip sonunda yeter artık diyerek oyunu sonlandırarak adama çıkış kapısına kadar refakat ettiler. İstatistikî beklentilerinin (ki bu kumarhanede topyekûn kaybetmeniz demektir) üzerinde kazanmaya başladığınızda tüm kumarhane sahiplerinin sizi kapı önüne koyması da ilginç bir durumdur. Adam bütün hafta boyunca Las Vegas'taki tüm kumarhanelerde oynadı ve sonunda hepsinden de kapı dışarı atıldı. Sonunda da gayet klas bir 21.000 dolarla (ilk baştaki yatırımını ikiye katlayıp geçerek) Vegas'tan ayrıldı.

Bir zaman sonra bu kişinin Massachusetts Teknoloji Üniversitesi'nde matematik profesörü olan Edward Thorp olduğu anlaşıldı. Thorp daha sonra deneyimlerini ve bahis stratejilerini anlattığı *Beat The Dealer*[30] adlı bir kitap yazdı ve kitap 700.000'in üzerinde satarak "best seller" oldu. Peki stratejisi neydi? (Bu arada üniversitedeki bir profesöre kumar oynaması için hangi kaçık bir milyon dolar verir?)

30 Krupiyeyi Yenmek.

Edward Thorp da risk almaktan heyecan duyuyor, ancak istikrarlı bir tarzla oynadığında riskinin sınırlı olduğunu biliyordu. Böylece oyunun uzun vadedeki geri dönüşü iyi oldu. Peki, doğru risk alma değeri tam olarak nedir? İster inanın ister inanmayın ama Shannon bilgi yasası bu değeri de belirliyor, tabii kazanmak için geldiyseniz.

Edward Thorp Shannon'ın araştırmasıyla yakından ilgiliydi ve onun Bell laboratuvarlarından meslektaşı Robert Kelly ile de tanışıyordu. Kelly'nin makalesi Shannon'ınkinden 10 yıl sonra yayımlandı. Bu makale Shannon'ın fikirlerini bahis konusuna uyarlamaya yarayacak tek kaynak ve ayrıca Shannon'ın bilgi teorisini açımlayan ilk çalışmaydı. On yıl boyunca bu konuda başka çalışma yapılmamış olması da elbette ilginçtir. Bunun sebebi Shannon'ı kabullenmenin uzun zaman alması değildi. Tam tersine yazdığı makale bir gecede başarıya ulaştı. İşin aslı, Shannon'ın ulaştığı sonuçlar öylesine bütünlüklü ve mükemmel biçimde savlanmışlardı ki hiç kimsenin üzerine söyleyecek bir sözü yoktu! Peki Kelly'nin başardığı şey neydi?

Bir şey beklenmeden olduğunda kazanılan bilginin de çok fazla olduğunu anımsayalım. Bu bizi büyük şaşkınlığa ve (olasılıkla da) heyecana götürüyor. Pekâlâ, heyecanlanmanın en iyi yolu bir kumarhaneye girip daha az olası bir bahse, mesela hep yeke (masaya düşen zarların ikisinin de biri göstermesi) oynamaktır. Bunun olma şansı 36'da 1'dir, çünkü her bir zarda altı rakam vardır ve altı kere altı 36'dır. Bu olay daha az olası olduğu için kazandığınızda bayağı da bir para kaldırırsınız. Çift sayıya oynamak pek de kazandırıcı olmayacaktır çünkü yüzde 50/50 şansınız vardır. Eğer gidilen kumarhane dürüst bir işletmeyse (ki Thorp'ın Las Vegas'tan bile şutlandığı düşünüldüğünde hiçbiri de değildir) hep yek için 1 dolar koyup kazanırsanız, 36 dolar alırsınız. Kabul edin ki oldukça kârlı yatırım!

Elbette illa kumarhanelerde yatırım yapma zorunluluğunuz yok. Paranızı şirketlere de bağlayabilirsiniz. Küçük, daha az bilinen ve daha az kazanma olasılığı vadeden bir şirkete yatırım yapıp (hüküm süren piyasa koşulları ve iş stratejileri de düşünülerek) kazandığınızda (aynı miktardaki yatırım için) alacağınız para daha da fazla olacaktır. Burada bilgi için söylediklerimizin "kokusunu" alıyor gibiyiz: Olayın olasılığı ne kadar düşükse, elde ettiği bilgi o denli çok olur ve bu durumda bilgi ne denli çoksa getirisi de o denli yüksek olmalıdır. Gerçekten de Shannon'ın bilgi ilkesinin iş dünyasında da iş başında olduğunu görüyoruz. Ayrıca şirketlerin başarısı için bahse girmek (elbette verimli ve etkin piyasalarda olduklarını varsayarak) herhangi bir kumarhanede bahse girmekten daha adildir.

Hepimiz kazanmak isteriz. Hiç kimse kaybeden olmak istemez. Öyleyse bilgi teorisi bize kılavuzluk edip kazanma şansımızı maksimuma çıkarabilir mi? Sorunun cevabının kesinkes "evet" olması sizi şaşkınlığa sürükleyebilir. Finansal spekülasyonlardaki kârı maksimize etmek, iletişimdeki kanal kapasitesini maksimize etme problemiyle bire bir aynıdır. İkinci bahsi Bölüm 3'te Shannon çözmüştü. Şimdi geriye çözümü başka problemlere uygulamak kalıyor. Shannon'ın çözümü şöyleydi: Mesajların uzunluğu Shannon'ın "ters olasılığın logaritması" kuralına uyuyorsa kanalın maksimum kapasitesine ulaşılır. Şimdi, başarılı yatırımlarda kazandığınız para miktarını mesajın uzunluğu olarak düşünürseniz, Londra şehrindeki (şehirden ne kaldıysa tabii) ve Wall Street'teki borsa simsarlarının "log optimal portföy"[31] olarak bahsettikleri şeyi bir nevi elde etmiş olursunuz.

31 Optimal portföy: Ekonomik birimler risk almak istemediklerinde portföylerinde hem finansal varlık (bono, tahvil, para) hem maddi varlık (hisse senedi) tutarlar. Bu varlıkların getirilerinde oluşabilecek değişiklikleri takip eder ve portföy dengesini de ona göre oluştururlar. Ulaşmak istedikleri nokta, portföydeki aktiflerin marjinal verimliliklerinin eşitlendiği noktadır ve optimal portföy bu noktada oluşur. (Kaynak: Ekşi sözlük)

Şimdi log optimal portföyle uygulamada bahse girmenin yoluna bakalım. Temel mantık bahislerinizi mümkün olduğu kadar dağıtmak, yani bütün yumurtaları aynı sepete koymamaktır. Bunun sebebiyse bahsi uzun süre oynamaya (ve ümit edelim ki kazanmaya) devam etmek istemenizdir. Tüm bahisleriniz tek yerde olursa ve daha başında kaybederseniz (bayağı şanssız gününüzde olmalısınız) bir sonraki bahis için krediniz kalmayacaktır. Tıpkı iletişimde olduğu gibi bazı bahislere yüksek meblağda parayla girilir, bazıları ise ufak meblağlarda olmalıdır. Peki, yatırımımızın boyutuna tam olarak nasıl karar vermeliyiz?

İşinin erbabı bir kumarbaz gibi riske girmeden ve uzun süre oynamak istediğinizi düşünelim. 20 yıllık bir yatırım yapmak istiyorsunuz ve her sene için büyük bir getiri beklentiniz olmadan paranızın uzun vadede katlanmasını istiyorsunuz (böylece ileriki yaşlarınızda emeklilik maaşınızla birlikte bu parayı da harcayacaksınız). Burada bilgi teorisi bize şunları söylüyor. (Gerçekte büyük olasılıkla kendinize sizin için düşünecek, hesap ve yatırım yapacak bir finansal danışman bulacaksınız ancak burada size bu danışmanların ne tür hesaplamalar yaptıklarını göstermek istiyorum. Ayrıca bunların yüzde aldıklarını da unutmayın, bu işi kendiniz yaparsanız son tahlilde daha kazançlı bir noktada olursunuz).

FTSE'in (London Financial Times Stock Exchange[32]) top-10 şirketini düşünelim. Büyük ihtimal uzunca bir süre ilk 100 şirket arasında kalacaklar ve yakın zamanda da daha aşağıya düşme olasılıkları yok. Diyelim ki bu 10 şirkete paylaştırmak istediğiniz yekûn 1000 dolar paranız var. Önce bu şirketlerin size olumlu getiri sağlama (yani, paranızı bağladığınızda kazanmanız) olasılıklarını ölçüp biçmek istiyorsunuz. Bu olası-

32 Londra Menkul Kıymetler Borsası.

lıkları hesaplamak için (hiç kimse size bu bilgileri vermeyecektir) güncel piyasa koşulları ve stratejilerinin yanı sıra şirketlerin geçmiş performanslarına da bakabilirsiniz. Şirket hakkındaki mevcut umumi bilgiyi ne kadar iyi kavrarsanız olasılıkları da o denli doğru ölçüp biçmeyi ve dolayısıyla optimal bir bahis stratejisi yürütmeyi umabilirsiniz. Şehir analistlerinin full-time (tam zamanlı) işi budur. Her hafta, haftanın 80 saati bunla uğraşırlar (güvenilir bir arkadaşımın söylediğine göre son zamanlarda 90 saate de çıkıyor). Oysa Shannon'a göre yalnızca temel düzeyde bir araştırma ve yaklaşık olasılık hesapları yaparak, yatıracağınız parayı bahislere dağıtıp iyi bir getiri sağlayabilirsiniz.

Bir şirketin hisse değeri zaman zaman artar zaman zaman da düşer; diğer bir söyleyişle piyasada bazı dalgalanmalar olur. Bununla birlikte şirket finansal ve stratejik olarak güvenilirse ki Menkul Kıymetler Borsasındaki top-100 şirket böyledir, o zaman uzun vadeli totalde tümden yükselen bir trend göstereceklerdir.

Hali hazırdaki tüm bilgiyi kullanarak bir şirketin gelecek yıl %3 kazandıracağını hesaplayabiliriz. Bu ilk başta göründüğü kadar zor değil (tabii kaba tahmin yapıyorsak). Geçen 50 yıl içerisinde %3'ten fazla getirmiş ve analistler gelecek yıl %10 getirmesini bekliyorlar. Bu durumda gelecek yıl %3 getirme olasılığı oldukça yüksektir. X şirketinin kesin getiri olasılıklarını bu şekilde hesaplayabilirsiniz.

Thorp'ın blackjack oynarken olasılıkları ölçüp biçmek gibi bir problemi olmadığını da ekleyelim. Açılan kâğıtlar herkes tarafından bilindiği için kartları okuyarak olasılıkları yeniden hesaplayabiliyordu. Aslında Thorp'ın kumar makinesi[33] gibi başka oyunlarda oynamak yerine (kumar makinesinde

33 İng: Slot machine.

bir sonraki diziyi tahmin edebilmek için kullanacağımız hiçbir öncül bilgi bulunmaz) blackjack'i seçmesinin nedeni de buydu. Açılan kartlara bakarak, bahis stratejisini buna göre belirleyip ileriki olasılıkları hesaplayabiliyordu. Şirketlerin performanslarını takip etmek de kartları izlemek gibidir.

Çok düşük bir olasılık olsa da blackjack'le ilgili hiçbir şey bilmeyen okuyucu için kısa bir özet geçeyim. Oyunda temel olan, dağıtıcının elindeki puanı da geçmek kaydıyla 21 puana yakın bir elinizin olması ve bu puanı geçmemesidir (geçerse kaybedersiniz). Her bir kartın kendine ait bir puan değeri var ve dağıtıcı isteğe bağlı olarak kart veriyor. Masanın etrafındaki diğer oyuncular oyuna karışmadan bekliyorlar, ancak onlara dağıtılan kartları aklınızda tutabilir ve buna göre olasılıkları doğru bir şekilde belirleyebilirsiniz. Elinizi tamamen dağıtıcının eline karşı oynuyorsunuz. Thorp başka bir kart isteyip istemeyeceğini belirlerken yaptığı tek şey Shannon'ın formülünü kullanmaktı. Formüle ölçülüp biçilmiş olasılıkları yerleştiriyordu.

Diyelim ki Vegas'ta bir gazinoda dağıtıcıya karşı oynuyoruz. Önümüzde toplamda 15 puan değerinde üç kart var ve dağıtıcı yeni bir kâğıt isteyip istemediğimizi soruyor. Şimdi düşünüyoruz, gelen kartın altı ya da daha az puan değerinde olması olasılığı nedir? Dört adet altılı, üç adet beşli, üç adet dörtlü, üç adet ikili ve üç adet papaz görmüşsek eğer, oyunda olan ve hiç kâğıt saymayanlara göre sezgisel olarak daha fazla bilgi sahibiyiz demektir. Kâğıt saymayan birisi bu riski alabilir ancak biz elimizi 21'in üzerine çıkartmayacak bir kâğıt görme şansımız çok düşük olduğunu mantık icabı biliriz. İşte Shannon'ın formülü sadece bu durumu biçimlendiriyor ve risk almak ya da almamak için uygun zamanı belirlememize yardımcı oluyor.

Aslında kumarhanenin birine dalmak hepten riskli bir te-

şebbüs olabilir, hele de kumar oynamak için mafyadan para aldıysanız. Gelin şimdi daha sağlıklı bir senaryo düşünelim. Zaten bütün o büyük küresel finans piyasasında kumar tamamen yasalken, kumarhanelerde tasa çekmenin ne manası var? (2008 yılında masamda oturmuş emekli fonumun durumunun çekiçle ilan edilişini[34] izlerken yaptığım yorumdaki ince alaydan dolayı okuyucudan özür dilerim).

Shannon'ın formülünün dış değerini hesaplayarak onu borsada yatırım yapmak için kullanabiliriz. Varsayalım ki bir şirketin bir yılda %3 getirmesi ihtimali %55, bir başka şirketin %60 ve bir başkasının da başka bir oran. Nasıl yatırım yapmalıyız? Sezgisel olarak en iyi yatırım, oranlayarak yaptığımız yatırım olurdu. Şöyle ki, en yüksek getiri ihtimalini sunan şirkete daha fazla yatırım yapmalı, bir sonrakine daha az ve bu şekilde devam etmeliyiz. Eğer bir şirket anaparanıza iki katı kazanç ihtimali sunuyorsa ona iki katı daha fazla yatırım yapmalısınız. Peki yatırımınızın total getirisi ne kadar olacak? Beklenen getiri hayret verici şekilde kâfi düzeydedir ve Shannon'ın bilgi formülüyle tıpatıp denktir! Bu nasıl mümkün olabilir?

Tamamen nesnel olarak uygulamada ne kadar kazanabileceğinizi göstermek için somut bir örnek vermek istiyorum. En iyi şirketlerden birine yatırım yaptığınızı ve tek bir günde %55 para kazandırma ihtimali sunduğunu farz edin. Daha önceki gibi yine 1000 dolarınız olsun. Bilgi teorisi öncelikle şunu söylüyor; paranızın (1000 dolar), (2x55-100)'ünden fazlasını yatırmamalısınız. Bu da %10'a denk düşer ve 100 dolardır. Yalnızca 100 dolarla başlarsanız bu sizi korur ve oynamaya devam edebilirsiniz. Bu durumda sadece oynamaya devam etmek yoluyla mevcut mangırınızı artırabilirsiniz.

34 Londra Menkul Kıymetler Borsası'nda bir borsa üyesinin gereken sorumluluğunu yerine getirememesi üzerine, çekiçle vurularak durumun ilan edilmesi. İng: Hammering.

Şimdi 100 dolar yatırım yaptınız. Shannon bilgi teorisi kâr oranınızın %0,5 yükseleceğini söylüyor. Bu da demektir ki 50 sent kazandınız. Ertesi gün işler değişmezse yine 50 sent kazanmış olacaksınız, ancak şimdi 100 dolar 50 sentle başladınız ve bu ilk seferden daha yüksek bir rakam –50 sent ve 50 sentin de %0.5'i ve böyle sürecek... Başlangıçta pek fazla bir değişim hissetmeyebilirsiniz, ancak gelişim esasen üssel olacaktır (tüm üslü sayılar başlangıçta lineerdir[35] ve bu yüzden ilk başta pek de etkileyici değildirler). Bir sene sonunda paranızı ikiye katlayıp 200 dolar yapacaksınız. Ertesi yıl 400 dolar, sonra sekiz yüz ve beş yıl sonunda paranız başlangıca göre 16 kat artacak. Bu artış enflasyon oranından, hele de tembellik edip kapitalinizi bankada uslu uslu uyumaya bırakmışsanız, daha iyi gibi görünüyor. Yukarıda bahsedilen kazanç hâlâ pek makul görünmeyebilir ama sadece 100 dolar yatırdınız. Ya 100.000 dolar yatırsaydınız? Üstüne üstlük %0,5 oranında da kazandınız ve bugün paranız 500 dolar oldu (hem de her gün böyle sürecek!). Ayrıca tüm bunlar hiçbir şey yapmadan, sadece paranızı kaybetme olasılığı "riskine girerek" (ki bu noktada küçük bir risktir) gerçekleşti.

Yine Shannon formülüne göre tamamen belirsiz olan bir bahse asla girmememiz gerekiyor (yani Kelly'nin tavsiyesine uyarsak piyango oynamıyoruz). Kazanma şansı yalnızca %50'yse de bahislerden uzak dursanız iyi olur. Ortalama olarak hiçbir şey kazanmayacaksınız ve pek muhtemel ki her şeyinizi kaybedeceksiniz.

Şimdi finans piyasaları tartışmasını ve parasal mevzuları önceki bölümle, yani Maxwell'in şeytanıyla ilişkilendirelim. Bütün piyasa davranışları hakkında termodinamiği kullanıp, finans dünyası için bazı genel trendler belirleyebilir miyiz?

35 Doğrusal.

Termodinamik piyasaları açıkça etkileyen bir davranış gösteriyor. Görünen o ki bir şeyin fiyatı arz talep dengesi ilkesiyle belirleniyor ve kaynaklar kıtsa fiyat da fırlayıveriyor. Daha önce de gördüğümüz üzere termodinamik, enerji kaynaklarımızın tükeneceğini ve kum saati boşalırken gezegende hoş olmayan etkiler yaratacağını söylüyor. Bunun mecburen ekonomiye de genel bir etkisi olacak ki aslında bu tip olayları devamlı olarak yaşamaktayız. Benzinin fiyatı petrole ve dolayısıyla petrol rezervlerinin mevcudiyetine bağlıdır. Ortadoğu'daki ufacık bir çatışma kokusu bile petrol fiyatlarını fırlatmaya yeter.

Ne var ki termodinamik ve ekonomiyi bağlayan daha sıkı bağlar var. Finans piyasalarının davranışı bir bakıma termodinamikteki fiziksel sistemin davranışının oldukça berrak bir yansımasıdır. Finans sektöründe sık sık tekrarlanan genel bir kanun vardır: "Etkin bir piyasada risk almadan finansal kazanç yakalanamaz". Bu yasaya göre yapmaya değer her şey, kendisiyle ilintili (kayda değer) bir hata olasılığını da içermek zorundadır. Eğer bir şey kesinse, emin olun ki mükâfatı da önemsenmeye değmez.

Sanki şunu hatırlatıyor: Yararlı bir iş üretmek istiyorsanız, biraz ter dökmeye hazır olun. Termodinamiğin ikinci yasası iş çıkarmak için çevrenizin ısısını artırmanız gerekir diyor. Bu da daha fazla para eden ev nispeten daha iyidir (örneğin; onu elde etmek için kazandığınızdan daha fazlasını harcarsınız) ifadesiyle benzeşiyor. Gelin bu konuyu daha iyi örnekleyebilmek için şu basit kumarhane bahsi örneğimize dönelim. Varsayalım ki enerji rolünü para üstlensin.

Ama durun bir dakika deyip, enerjinin aksine pek de muhafaza edilemeyen para bu rolü nasıl oynar diye sorabilirsiniz. Para birdenbire ortaya çıkabiliyor ancak daha önce gördüğümüz gibi enerji böyle değil. Dünyada daha fazla insan ol-

saydı daha fazla para olacaktı, o halde paranın değişmez bir sabit olmadığı açıktır. Ancak kumarhanede bahse giren birini düşündüğümüzde, toplam para miktarının sabitlenmiş olduğunu görüyoruz. Para kişinin cebinde ya da kumarhanenin kasasında olabilir, fakat mutlaka bir yerde olmak zorundadır. O halde sadece bu belirli koşullar altında para korunmuş olur ve enerjiyle karşılaştırılabilir.

Artık termodinamik yasalarıyla benzerlik kurarak kumarhanede bahse girmenin kurallarını belirleyebiliriz. Öncelikle müessesenin sağladığı avantajlara bir göz atalım:

1- *"Oyunu kazanamazsınız"*. Yani eğer bir şeyin olasılığı üçte birse, kazancınız paranızın olsa olsa üç katı olur. Yani 10 dolar yatırırsanız en fazla 30 dolar geri alırsınız ancak ezici bir olasılıkla da paranızın üçte ikisini (%67) kaybedersiniz. Ortalama olarak bakarsak, oyuna devam ettiğiniz sürece hiçbir şey kazanmayacaksınız. Bu termodinamiğin birinci yasasının tam bir örneğidir: Hiçlikten bir şey elde edemezsiniz.

Termodinamiğin ikinci bahis yasası çok daha iç karartıcı çünkü tüm kumarhane mantığı buna göre kurulur.

2- *"Bahsi kazançsız ve zararsız bir şekilde kapatma ihtimaliniz yok"*. Size asla adil bir şekilde kazanma şansı verilmez hatta gerçek bir kumarhanede hem giriş için para ödemek hem de oyun oynamak için para ödemek zorundasınız. Ayrıca büyük ihtimalle içki de alacak ve size eşlik eden personele bahşiş de vereceksiniz. Yani para bütününde korunuyor gibi olsa da, cebinizden süzülürken başka bir yöne değil de kumarhane kasasına gitme eğilimi gösteriyor. Bu da termodinamikteki entropi artışına

benzer; ısı daima sıcak bir cisimden soğuk bir cisme doğru akar. Yani kumarhane bahsinde oyuncu "sıcak (enerjik, ateşli)", kumarhane "soğuk (cool-soğukkanlı)" oluyor ve paranın nereye akacağı da belirleniyor.

Şimdi de sırada termodinamiğin üçüncü yasası var ve elbette o da bahisle olan benzerliğini ortaya koyuyor.

3- "Oyunu bırakamazsınız."

Bu ifadenin yorumunu okuyucuya bırakıyorum. Kumarbazların genelde acı son gelene kadar kumar oynadıklarını söylemekle yetinelim. Bahis yasaları termodinamik yasalarıyla son derece benzerdir (termodinamiğin üçüncü yasası mutlak sıfıra varmamızı yasaklar; bahis terimlerinde bu hiç kimseden daha soğuk olamazsınız demektir, özellikle kumarhanenin kendisinden.)

Şu ana kadar süren tüm tartışmayı, Shannon'ın maksimum kanal kapasitesine ulaşma formülünün, Boltzmann'ın fiziksel entropi formülünün ve Kelly'nin finansal kârı maksimize etme formülünün bir ve aynı şey olduğunu söyleyerek basitçe özetleyebiliriz.

Ancak asıl şaşırtıcı olan şey, bahis olayına hayatın evrimine dair bereketli bir metafor olarak bakabiliyor olmamızdır. Rastlantısal mutasyonları da her birinin farklı başarı olasılığı bulunan değişik kumar stratejileri olarak düşünebiliriz. Biyolog Frederic Warburton bir bilimsel yazısında tam da bundan bahsediyor.

Warburton evrimi birey (kumarbaz) ve çevresi (müessese) arasındaki bir oyun olarak görüyor. Evrimsel tabirle kâra geçmek demek, çevresel koşullar ne olursa olsun yaşamın çoğalması anlamına geliyor. Bahsi kaybetmek yaşamın bite-

ceği anlamına gelmektedir. Bu yüzden de oyun şöyle yürür; birey kendi kopyalarını üretir ancak rastlantısal mutasyonlar nedeniyle doğal olarak bir parça fark olacaktır. Mutasyonlar çevreden (diyelim ki kozmik ışınlardan) ya da kopyadaki bazı hatalardan kaynaklanabilir. Bu mutasyonlar yeni bireyde az da olsa farklı yeni niteliksel özelliklere yol açabilir ve sonrasında doğa ve çevre tarafından test edilir. Üretilen bireylerin sayısı büyük oranda uygulanan kumar stratejisine de bağlıdır. Üretilen her birey beslenip bakılmalıdır ve kaynakların sonlu olduğu için bu kısıtlamalar doğrultusunda kaç kopya üreteceğimizi de belirlememiz gerekir. Üretilen yeni bireyler ya evrim testini geçerek sonrasında da çoğalacak (yani kâr elde edilecek) ya da başarısızlığa uğrayıp ölecekler (yani yatırım kaybedilecek). Ekonomide bu durum artan getiriler ilkesi olarak bilinir. Şimdi açıkça denebilir ki kârlı çıkma durumunu daha da fazla sürdürenler, stratejileriyle çevreyi daha da iyi aksettirenlerdir. Sonuç olarak hayat kârlılığı artırır ve evrim bir kumar oyununa dönüşür.

Ancak her zaman bir çıkıntı bulunduğu gibi, burada da daha kârlı hale dönüşen yaşam (entropisinin orantısal olarak artması nedeniyle) çevresini daha az kârlı kılar. Çevrenin entropisinin artması yaşamın çoğalmasını giderek daha da zorlaştırır. Benzer şekilde siz de bir kumarhanede (çevre) giderek kâra geçmeniz, uzun soluklu kârınızı zorunlu olarak etkiler. Pek çok faktör bu etkiyi doğurabilir, örneğin ödemeler düşürülebilir, kazanımlarınızdan yüzdelik vergi alınabilir ya da belki tümden paketlenip gönderilirsiniz. Oyuna başlamak için dahi masraf ödediğiniz düşünülürse, ikinci yasanın kendini nasıl gösterdiğini anlarız: Bahsi kazançsız ve zararsız bir şekilde kapatma ihtimaliniz yoktur.

Hayata Maxwell'in şeytanı olarak bakabileceğimizi söylemiştik. Entropiyi lokal olarak düşük tutmaya çalışan şeytan

bir yandan çevre entropisini artırır. Yani daha önce de söylediğimiz gibi bölgesel entropiyi ne denli düşük tutmaya çalışırsak, sistemin total entropisini de o denli yükseltmeye devam ederiz. Öyleyse totalde yükselen entropi bir yaşam göstergesi olabilir mi? Diğer gezegenleri entropileri bağlamında inceleyip yaşam olasılığını belirleyebilir miyiz?

Bu çok enteresan sorunun cevabı da şu ki total entropi üretimi önemli olmakla birlikte büyük olasılıkla muhtemelen konuyla bağıntılı tek etmen de değildir. Güneş sistemindeki tüm gezegenler ve uydular düşünüldüğünde her bir birim alanında en yüksek entropiye sahip gezegenin Merkür olduğunu görüyoruz ve bildiğimiz kadarıyla Merkür'de hayat yoktur. Bunun sebebi büyük ihtimalle Merkür'ün bir atmosferinin olmayışıdır. Atmosfer yaşamsal süreçlerin oluşması için kritik önemde olan madde geçişimi için bir aracı görevindedir.

Yerküre ve ay en yüksek entropi üretiminde ikinci sırayı paylaşıyorlar ve kabaca Merkür'ün dörtte biri oranında entropi üretimleri var. Ayın da gözle görünen bir atmosferi yok (çekimi atomları yüzeyine çekemeyecek kadar düşük) ve bu da yaşamı zor kılıyor. Diğer gezegenlerin ve uydularının entropisi bu üçünden oldukça düşüktür (Mars, yerkürenin ve Ayın üçte ikisi oranında entropi üretimiyle dördüncü sırada gelir).

Sonuç olarak total entropi üretimi yaşamla son derece bağıntılı ancak hikâyenin tamamını kapsamıyor gibi görünüyor. Yani başka seçeneklerimiz de bulunuyor. Belki de yaşam tanımımızı genişleterek onu başka yerlerde fark etmek zorundayız. Yaşamın tüm niteliklerini ayrıntılarıyla belirtmek (virüsler yaşıyorlar mı yaşamıyorlar mı?) çok çok zor olsa da entropi üretimi tek başına oldukça güçlü bir gösterge gibi duruyor.

Yaşamın diğer önemli bir niteliği de giderek daha da karmaşık hale gelmesidir. Bakalım şimdiye kadar ki incelememize dayanarak bu eğilimi daha eksiksiz bir biçimde niceleyebilecek miyiz? Gelin karmaşıklığı maksimum düzeyde düzensiz bir durum ile (örneğin maksimum entropi), lokal ortamdaki asıl entropi arasındaki farklılık olarak tanımlayalım (aslında bu tanımı termodinamikçi Peter Landsberg yaptı). Doğal seleksiyon çevre bağlamında entropiyi minimize eden organizmaların yanındadır (bu bölümün terminolojisine göre konuşursak, en iyi kumarbazlara iltimas geçmektedir). Entropiyi minimize etmeyenler ölürler. Bu nedenle de mutasyonlar son kertede lokal entropiyi eksiltme yolunu seçerler, dolayısıyla karmaşıklık elde etmek adına totaldeki maksimal entropiyi aradan çıkarırsak, bu durum yaşamın karmaşıklığının artışıyla sonuçlanır. Tüm yaşam formlarının zaman içerisinde daha karmaşık hale gelmediklerini hatırlatmakta fayda var. Çoğu karmaşık değiller ve asırlardır hâlâ oldukları olmaya ve başarıyla yaşamaya devam ediyorlar (örneğin; bazı bakteri türleri). Ancak zaman içerisinde bazı karmaşık yaşam formları beliriyor ve açıklamaya çalıştığımız şey de bu formlardaki artıştır.

Yaşamın karmaşıklığındaki artış bu noktada artık evrimin doğrudan bir sonucu olarak görülüyor: rastlantısal mutasyonlar ve doğal seçim. Oxford Üniversitesi'nden ünlü biyolog Richard Dawkins'in pek çok açıklamasında da tüm şevkiyle belirttiği gibi, evrim teorisi, etrafımızda gördüğümüz tüm o yaşayan karmaşıklığını açıklayabileceğimiz tek teoridir. Yaşamın totaldeki entropi artışını maksimize edebileceğini ortaya koyduğumuz düşünüldüğünde, aynı şekilde karmaşıklık artışını da maksimize edeceğini çıkarsayabiliriz. Bu yüzden de biyolojik karmaşıklık başarılı bir kumarbazın kârıyla aynıdır ve aynı şekilde büyür ve gelişir.

Bahisleri, finansal spekülasyonları inceleyip, bunların temel ilkelerinin sentezini inceledikten sonra yolumuza devam ediyoruz. Şimdi en doğal çerçevesini yine bilginin oluşturduğu ve benzer fikirleri tartışabileceğimiz başka bir örneği inceleyebiliriz. İlerleyen bölümde yine bu bilgi yaklaşımını açımlamak suretiyle yaşantımızı ve hayat kalitemizi belirleyen sosyal etkileşimleri tartışacağız.

Anahtar Noktalar

- Shannon mantığı bahis stratejilerini ve kârın maksimize edilişini açıklarken kullanılabilir.
- Kumarhanede kazanmak istiyorsanız, farklı sonuç olasılıklarına göre yatırım yapmak zorundasınız. Düşük olasılıklar, buna uygun olarak düşük meblağlı yatırımları gerektirir.
- Tamamen rastlantısal bir sonuca yönelik kumar oynamak, gerçekten de en düşük direktifle oynamaktır ve (yarısında kazanıp, yarısında kazanamayacağınız düşünülürse) uzun vadede asla kâr edemeyeceğiniz anlamına gelir.
- Shannon mantığını izlerseniz, yatırımdaki getiriniz Shannon entropisi nezdinde olacaktır. Finans konusunda bahislerinizi bu türlü dağıtma yolu, log optimal portföy yaklaşımı olarak bilinir ve yatırım kararlarına kapsamlı temel teşkil eder.
- Hayat da bir tür kumar oyunudur ve kendini çoğaltarak kazanır. Nereye kadar kazanacağıysa, çoğaldığı belli süre zarfıyla bağıntılıdır.

7

Sosyal Bilişim: Bağlantıda Kal ya da Bu Uğurda Geçsin Hayatın

Joe'yu herkes tanır. Joe sınıftaki en popüler öğrencidir, okul temsilcisidir, hayatın ve partinin ruhudur ve bir şeye ihtiyaç duymaya görsün hemen ayağına seriliveriyormuş gibidir. O, nefret etmeyi sevdiğimiz çocuktur! Biz böyle manyakça çalışmak zorundayken neden bütün fırsatları o yakalıyor? Biz her gün iş yerinde ter dökerken Joe'nun büyük bir evi, hızlı bir arabası var ve etrafı ona bayılan kızlarla dolup taşıyor. Böyle bir sihre sahip olmak için çoğu erkek sağ kolunu verirdi.

Peki Joe bunu nasıl yapıyor? Elbette kesin bir şekilde açıklayamam (eğer yapabilseydim kitabım şu çok satan kişisel gelişim kitaplarından olurdu) ancak daha fazla arkadaşı ve bağlantısı olan insanların çevresi daha seyrek olanlara göre daha başarılı olma eğilimi göstermeleri pek de şaşırtıcı gelmiyor. Sezgisel olarak biliriz ki bu insanlar geniş çaptaki bağlantılarından dolayı daha fazla desteğe ve istedikleri seçimleri yapabilme adına daha fazla fırsata sahiplerdir.

Aynı şekilde, bağlantıları daha fazla olan toplumlar, insanlarının ayrıklaştığı ya da izole olduğu toplumlara nazaran zorlayıcı olaylarla daha rahat başa çıkabilirler. Bu bağlantılılık

durumunun Shannon'ın bilgi teorisiyle olan yakınlığını ilk başta göremeyebiliriz. Yani bir telefon hattından bir mesaj göndermenin toplumların işleyişi ve olaylar karşısındaki tepkileriyle ne ilgisi olabilir?

Bilginin sosyolojide bazı roller oynayabileceğine dair ilk hakiki ipucunu 1971 yılında Nobel ödüllü Amerikalı ekonomist Thomas Schelling verdi. Schelling'in dönemine kadar sosyoloji oldukça niteliksel bir mevzuydu (ve ezici bir çoğunlukla hâlâ öyledir) ancak Schelling belirli sosyal paradigmaların, tıpkı bilgi değiş tokuşunun ana etmen olduğu diğer süreçlerdeki gibi aynı titiz ve niceliksel tarzla ele alınabileceğini gösterdi.

Schelling ilginç bir karakterdir. Marshall Planı'nın hazırlanışına katkıda bulunmuş, Beyaz Saray'da ve 1948-1953 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri başkanının yönetim ofisinde çalışmıştır. Bu arada Yale ve Harward gibi tanınmış akademik kurumlarda da çeşitli pozisyonlarda görev yapmıştır. Schelling ulus devletler arasındaki çatışmalar ve özellikle de nükleer silahlar konusundaki çalışmalarıyla tanındı. Şimdi "ön taahhüt" konusuna gelelim. Çatışma içindeki bir taraf bazı özgür seçeneklerini kısıtlamak suretiyle, verdiği gözdağını daha inandırıcı hale getirebilir ve stratejik durumunu kuvvetlendirebilir. Köprülerini yakan ve kaçışı imkânsız hale getiren bir ordu bu duruma klasik bir örnek teşkil eder. Karşı taraf artık kaçamayacağınızı bilmektedir, bu yüzden de stratejisi daha sınırlı hale gelir. Artık sonuna kadar savaşacağınızı, klasik bir gerilimi tırmandırma politikası uyguladığınızı anlamışlardır.

Fakat Schelling daha da ileri gitti. Çatışma üzerine çalışmanın, askerî anlamdaki çatışmanın çok çok ötesine geçen bir kavrayışla sonuçlanacağını düşünüyordu. Benzer bir analizi bireyin içsel çatışmalarına da uyguladı. Ona göre hepimiz çeşitli durumlarda bölünmüş kişilikler sergiliyoruz. Örneğin bir

yanınız kilo vermek ve sigarayı bırakmak veya günde iki kilometre koşmak ya da erkenden uyanıp işe gitmek ister. Öte yandan diğer yanınız bir tatlı daha yemek veya bir sigara daha yakmak ister, egzersizden nefret eder, uykuyu sever. İki kişilik de yürürlüktedir ve kendi arzularının peşinden gitme noktasında eşit şekilde rasyoneldir. Ancak aynı anda var olamazlar ve hangi tarafın kazanacağı iki kişiliğin uyguladığı stratejilere bağlıdır. Schelling'in bakış açısına göre, bir tarafın kazanma şansını, diğer tarafın uyumlanmakta zorlanacağı güçlü bir taahhütte ortaya koyarak artırabiliriz. Böylece ikinci taraf biraz daha yatakta keyif yapmak istiyorum derken, ilk taraf "sabah egzersizleri için haftada 70 dolar ödüyorum" diyerek misilleme yapabilir. Spor salonu üyeliği, evde sigara bulundurmamak, araba sahibi olmamak ve işe yürüyerek gitmek... Bunların tümü Schelling'in "köprüleri yakmak" dediği şeye örnek teşkil eder.

O halde çatışmalar üzerinde çalışmak yalnızca askerî anlamda değil, bireyler için de önemlidir. Ayrıca daha sonra göreceğimiz gibi toplumdaki ayrılmayı kavramak adına da çok mühimdir ve elbette bu kavrayışın altında yatan şey bilgi kavramıdır.

Bilgi teorisini sosyal çalışmalarda kullanmak kesinlikle yeni bir şey değil, öyle ki teorinin izlerini sürerken Schelling öncesine de gidebiliriz. İstatistikî yöntemlerin sosyal bilimlerde kullanılması Boltzmann'ı bu yöntemleri fiziğe uygulamak için harekete geçiren şeydi. Entropi formülünü de bu şekilde gündeme getirdi. Bilgi teorisinde kullanılan istatistikî yöntemleri doğrudan uygulamak, herhangi bir insan toplumunun karmaşık yapısı (evet, insan toplumu herhangi bir fiziksel sistemden çok daha karmaşıktır) düşünüldüğünde elbette zorlayıcı olacaktır, ancak aynı temel öncül söz konusudur. Fizikte karakteristik bir model olan basit bir gaza (atomlardan oluşur)

nazaran, insan varlığı maksadına ulaşmak adına bağımsız bir karmaşık strateji geliştirerek duruma değişkenlik katabilir.

Bilgi, sosyal bağlamlarda pek çok farklı sahne kostümüyle karşımıza çıkabilir: bireyler arasındaki iletişimler, eylemler, bireylerin halleri, toplumların veriyi işleme kapasiteleri ve benzeri. Tüm bu bilgi çeşitleri toplumun işleyişinde rol oynar.

Önceki bölümlerde üstü kapalı değindiğimiz ve daha titiz bir giriş yapmayı geciktirdiğimiz konu ise "karşılıklı[36] bilgi" idi. Bu kavram doğadaki türlü türlü fenomeni anlamak adına çok önemlidir ve herhangi bir toplum yapısının orijinini açıklarken kilit önem taşıyacak.

Karşılıklı bilgi, iki (ya da daha fazla) olayın bilgi paylaştığı durumu tanımlamak için kullanılan biçimsel bir sözcüktür. Olaylar arasında müşterek bilgi olması o olayların bundan böyle bağımsız olmadığı anlamına gelir, yani bir olayın diğeri hakkında söyleyecek bir şeyleri vardır. Örneğin birisi size bir barda içki içmek isteyip istemediğinizi sorduğunda kaç kez sen içersen ben de içerim cevabını verdiniz? Bu ifade kendi eylemlerinizle size içki teklif eden kişinin eylemleri arasında bağıntı kurduğunuzu gösterir. Onlar içki içerse siz de içeceksiniz; onlar içmezse, siz de içmeyeceksiniz. İçip içmeme konusundaki kararınız tamamen onlara bağlıdır ve bundan dolayı da bilgi teorisi dilinde iki taraf da maksimum karşılıklı bilgiye sahiptir.

Biraz daha formel ifade edelim: Karşılıklı bilginin tüm o varoluşu, çıkarım göstergesi olarak ifade edilebilir. Eğer birinden birine bakarak diğerinin niteliklerinden biri hakkında çıkarım yapabiliyorsanız, bu iki şey karşılıklı bilgiye sahiptir. Yani ben sizi önünüzde bir içkiyle barda görürsem bu mantıksal olarak size içki teklif eden kişinin de masasında içki ol-

36 İng: Mutual.

duğunu gösterir (sadece yanınızdaki içerse içeceğinizi düşündüğümüzde).

Elbette olaylar arasındaki karşılıklı bilgi daima mükemmel değildir ve kusurlu da olabilir, yani arkadaşınız içerse siz de her daim değil, "genellikle" içersiniz. Bu durumda ikinizin arasındaki çıkarım daha zayıf olacaktır.

Ne zaman karşılıklı bilgiyi tartışsak, aslında o nesnenin/kişinin/fikrin diğer nesne/kişi/fikir hakkında ne kadar bilgi içerdiğini soruyoruz. Alice ve Bob karşılıklı bilgiyi paylaşıyorlar. Alice Bob'la iletişim kurduktan sonra şimdi ikisi aynı mesajı paylaşıyorlar. Bob size mesajın ne olduğunu söylediğinde ve Alice ve Bob arasında maksimum karşılıklı bilgi olduğu varsayıldığında Alice'in hangi mesajı yolladığını Alice'e sormadan bileceksiniz. Maksimum olmayan bilgi hallerindeyse (örneğin; Bob bazı kısımları unutmuş olabilir) mesajı yalnızca kısmi olarak çıkarsayabileceğiz.

DNA konusunda gelelim. DNA molekülleri kodladıkları proteinin bilgisini paylaşır. Farklı DNA dizileri de birbirleri hakkındaki bilgiyi paylaşır (A'nın yalnızca G ile ve C'nin yalnızca T ile eşleştiğiniz biliyoruz). Dahası farklı insanların DNA molekülleri de birbirleri hakkında bilgi paylaşır (örneğin bir baba ve oğul genetik DNA materyalinin yarısını paylaşır) ve DNA'nın kendisi de çevreyle bilgi paylaşır –bu bakımdan da çevre, doğal seleksiyon yoluyla DNA'nın nasıl evrileceğini belirler.

Termodinamikte karşılıklı bilgi şeytanın belleği ve parçacıkların hareketi arasında yapılanır. Şeytanın ne kadar bilgi aldığı, parçacıkların gerçek hızları üzerine ne kadar bilgi sahibi olduğuna bağlıdır. Aynı şekilde finansal stratejiler yoluyla kazanılan kâr da, (rastlantısal bahsi bir yana bırakarak konuşursak) esasen piyasayla ne kadar bilgi paylaştığınızla ilintilidir. Hisse senedi hareketlerini bilmek istiyorsanız, piyasa hakkında tam bir bilginiz olması gerekir (ki bilginin karmaşık-

lığı ve fazlalığı düşünüldüğünde bu hemen hemen olanaksızdır). Her şeyin bir dereceye kadar birbiriyle etkileşim içinde olduğu düşünülürse, karşılıklı bilgi tek kelimeyle her yanımızı sarmış durumdadır!

Bu bölümde karşılıklı bilgiyi kullanarak kavramayı deneyeceğimiz şey "küreselleşme" ya da bambaşka toplumların birbirleriyle olan bağlantılılığının artışı olacak. Her toplumun farklı sınıflara bölünmüş olması ve bu ayrımın olumsuz etkileriyse üzerine konuşacağımız başka bir fenomen.

Sosyal fenomeni derinlemesine taramazdan önce fizikte önemli bir kavram olan faz geçişine değinmem gerekiyor. Biraz üstünkörü biçimde şöyle açıklayalım: Faz geçişleri, tek tek bileşenler arasında paylaşılan bilginin fazlalaştığı sistemlerde oluşur (bir kutudaki bir gaz, manyetik bir alandaki demir bir çubuk ve bir elektrik devresine bağlanmış bakır bir çubuk düşünürsek, hepsinin de bileşenleri bir dereceye kadar karşılıklı bilgi paylaşımındadırlar).

Karşılıklı bilginin yüksek bir dereceye ulaşması, tek tek bileşenler hâlâ aynı olsa da, genellikle temel bir davranış değişikliğine yol açar. Bu noktayı açarsak, tek tek bileşenlerin tek bir temelde etkilenmediklerini fakat grup olarak tamamen farklı davranış sergilediklerini söyleyebiliriz. Burada tek tek bileşenlerin birbirleriyle olan ilintileri ve bir grup dinamiği yaratmaları esas noktadır. Konuya büyük katkılar yapan ve böylece 1977 yılında Nobel ödülü alan fizikçi Philip Anderson durumu "fazla olan farklıdır" diye tanımlıyor.

Suyu kaynatırken ya da dondururken gözlemlediğimiz etki grup dinamiğine genel bir örnektir (örneğin; katının sıvıya dönüşümü ya da sıvının katıya dönüşümü). Bu uç noktada gerçekleşen ve gözle görülen yapı değişimleri faz geçişleri olarak bilinir. Su donduğu zaman, su molekülleri daha sıkı bağıntılar kurarak faz geçişleri oluşturur ve bu bağıntılar ken-

dilerini daha güçlü molekül bağları ve daha katı bir yapıyla belli ederler.

Toplumların yapılanması ve her toplumdaki kayda değer değişimler, –örneğin, devrimler, iç savaşlar ya da demokrasinin kazanımı– faz geçişleri terminolojisi yoluyla gerçekten de daha iyi anlaşılabilir.

Gelin faz geçişlerini daha ayrıntılı açıklayan etraflı bir örnek verelim. Bu örnek çeşitli sosyal fenomenleri açıklarken daha sonra da bize model teşkil edecek ve ilerleyen sayfalarda yeniden ele alınacak. Şimdi sayısız (milyar kere milyarlarca) atomdan oluşmuş basit bir katı cisim düşünelim. Atomlar genellikle birbirleriyle etkileşim halindeler ve elbette bu etkileşim yakın komşularının ötesine pek az geçebiliyor. Demek ki yalnızca birbirlerine yakın atomlar birbirlerinin varlığını hissedebiliyor ve birbirlerinden uzak olanlar çoğunlukla bilgi değiş tokuşunda bulunmuyorlar.

Şimdi, "en yakınlardaki komşu" etkileşiminden sadece birbirlerine yakın olan atomların bilgi paylaştığı ve etkileşim yoksa bilginin de paylaşılmasının mümkün olmadığı sonucunun çıkması beklenir. Mantıklı gelmesine rağmen aslında tamamen yanlış bir çıkarım. Bir kamçıyı düşünün; bir ucunu sarstığınızda, diğer ucun hızını ve menzilini de doğrudan etkiliyorsunuz. Kamçıdaki atomların birbirleriyle olan bağlantılarını kullanarak hareket transferi gerçekleştiriyorsunuz. Uzak atomlar arasında da bilgi paylaşımı vardır çünkü bir atom yakın komşularıyla iletişime geçtiğinde bu komşular da kendi komşularıyla iletişime geçerler ve bu böyle sürer. Bu durum "six degrees of separation"[37] kavramı yoluyla daha şık bir şekilde izah edilebilir.

37 Ayrılığın altı aşaması. Dünyadaki herhangi iki insanın arasında yalnızca altı kişi olduğunu iddia eden teori. Doğru bağlantıları (kişileri) takip ettiğinizde 6 adım sonra dünyadaki herhangi bir kişi ile aranızdaki bağı görebilirsiniz.

Bu gezegendeki her insanın başka bir insandan en çok altı kişi uzak olduğunun söylendiğini sıkça duymuşsunuzdur. Başta şok edici gibi gelse de ayrıntılı incelersek gerçekten de mantıklı olduğunu anlıyoruz. Örneğin ben, Bill Clinton'dan sadece üç aşama ayrıyım. Bu nasıl oluyor? Pekâlâ, City Of London'da çalışan çok yakın bir arkadaşım var. Onun patronu bankanın Amerika'daki şubesinin patronunu tanıyor ve bu Amerikalı patron da Bill Clinton'ı tanıyor. İşte bu! Beni Bill Clinton'dan yalnızca üç insan ayırıyor. Eski başkan Bill Clinton'dan sadece üç aşamayla ayrılmama pek aldırmıyor olabilirim ama yine de durum oldukça ilginçtir. Yine ilginç olan başka bir şey de bağlantıların çalışma biçimidir. X işini yapan kişiyi tanıyıp tanımamanız mühim değil, mühim olan tek şey toplumla bağlantıda olmanız ve böylece gezegendeki neredeyse herkese ulaşabilir olmanızdır (bir yerlerdeki bir kişi de X hakkındaki bir şeyler biliyordur).

Bir kişinin başka bir kişiyle altı aşamayla bağlı olmasının sebebini anlamak da çok kolay. 100 kişiyi tanıdığımı varsayalım (daha fazla da olabilir ancak insan beyninin farklı isimleri hatırlama ve ayırt etme anlamında 200 kişilik bir kapasitesi olduğu söylenir. Bu kapasite insan evriminin erken dönemlerinden, hayatın küçük kabilelerde geçtiği zamanlardan kalan evrimsel bir mirastır). Tanıdığım 100 kişi 100 başka kişiyi tanıyor ve zincir böyle sürüyor. Beş adım sonra rakam 100 milyara çıkıyor (100 çarpı 100 çarpı 100 çarpı 100 çarpı 100, 5 kez). Dünya üzerindeki insan sayısı da altı milyardır. Yani bu modeldeki beş adımlık bir bağlantı ve tanışlık bile gezegendeki herkesle bağlantıda olmaya yetiyor. Ancak elbette herkesin 100 tanıdığı olmayabilir ve bu yüzden de dünyadaki herkesi kapsayan bir ağ kurmak için altı aşama gerekebilir. Belki de bu yüzden, yani bağıntılı olma halimizi en iyi durumuna getirmek adına daha fazla tanıdığı olan insanların cazibesine kapılıyoruz.

Peki insanlar arasındaki bu ağ örgüsü neden bu denli önemli? Toplumun aldığı kararların yüksek oranda bireyler (nihayetinde kendileri adına düşünen kişiler) tarafından kontrol edildiğini iddia edebilirsiniz. Ancak bu düşünceler de bireyler arasında paylaşılan ortak bir bilgi üzerine temellenmiştir. Bireyler arasındaki bu etkileşim, hem toplum içerisindeki farklı yapılanmalardan hem de toplumun kendisinden sorumludur.

Bunun yanı sıra toplumlar, belirli sayıda başka niteliklere de –karar alma aşamasındaki merkeziyetçilik düzeyi gibi– sahip olabilir. Merkeziyetçiliğin aşırı bir formu da diktatörlüktür. Ve şu noktada bireylerin herhangi bir karar aşamasında ne kadar az rol oynadıklarını analiz etmek pek o kadar da ilginç görünmüyor. Çok ama çok ilginç olan başka bir aşırı uç var. Burada herhangi bir merkeziyetçilik yok ve bireyler kendi arzularına göre hizalanıyorlar. Herhangi bir dışsal uyarıcıya izin verilmiyor ve yalnızca bireylerin birbiriyle etkileşiminden doğan bir fikir birliği söz konusu oluyor. Bireyler arasında paylaşılan bilgi çok daha önemli hale geliyor. Peki yalnızca bölgesel olarak yani kısıtlı sayıda komşuyla etkileşim kurulabiliyorsa, karar alma noktasında nasıl uzlaşılacak?

Bölgesel bağıntıların toplum içerisindeki yapıların kuruluşuna öncülük edişini kavrayabilmek adına katı cisim örneğimize dönelim. Katılar atomların düzenli dizilişleridir. Ancak bu sefer suyun nasıl buza dönüştüğünü konuşmak yerine, bir katının bir mıknatısa nasıl dönüştüğüne bakalım. Katı cisimdeki her bir atom başlı başına küçük bir mıknatıs olarak düşünülebilir. Başlangıçta bu mıknatıslar birbirlerinden tamamen bağımsızdırlar ve kuzey/güney doğrultusunda herhangi bir yerleşimleri yoktur, yani her biri rastgele yönleri gösterir. Öyleyse bütün bir katı, yani atomların tamamı mıknatısların rastlantısal bir birlikteliği olmaktadır ve bir bütün olarak mık-

natıslanmaları (paramagnetizm) mümkün değildir. Tüm bu rastlantısal küçük atomik mıknatıslar birbirlerinin etkisini dengeleyecek ve sonuçta herhangi bir manyetik ağ alanı olmayacaktır.

Ancak atomlar etkileşimde bulunurlarsa birbirlerinin durumunu etkileyecekler, örneğin komşularının kendileriyle aynı dizgiye gelmelerine sebep olabileceklerdir. Şimdi, altı aşamalı ayrılık ilkesine göre her bir atom bağlantıda olduğu diğer atomları etkiler ve ardından o atomlar diğer komşularını etkiler ve en nihayetinde katıdaki tüm bağıntılı atomlar etkilenmiş olur. Eğer etkileşim dışsal sıcaklığa bağlı olarak oluşan gürültüden daha güçlüyse, bütün mıknatıslar neticede aynı yönde sıralanacak ve katı cisim bir bütün olarak manyetik bir ağ alanı oluşturmak suretiyle manyetik olacak! İşte şimdi tüm atomlar tutarlı bir uyum içerisinde davranıyorlar ve tıpkı büyük bir mıknatıs gibiler. Tüm atomların "spontane şekilde" sıraya dizilme noktaları faz geçişi, yani bir katının bir mıknatıs olduğu an olarak bilinir,

Bu fikir insan toplumu gibi karmaşık bir şeye uygulanabilir mi? Başlangıçta çok zor olacakmış gibi geliyor. İnsanları küçük mıknatıslar olarak düşünelim (gelin buna "politik olarak" sağ ya da sol yönü gösteren mıknatıslar diyelim) ve tüm toplumların hangi koşullar altında tümden sağa ya da sola kayabileceğini inceleyelim. Sonrasında da bunun pek az dışsal etkene gereksinerek nasıl başarıldığını görelim.

Atomların insanlara kıyasla daha basit sistemler olduğunu söyleyerek itiraz edebilirsiniz. Ne de olsa insanlar düşünebiliyor, hissedebiliyor ve sinirlenebiliyorlar. Oysa atomlar canlı değiller ve davranış kapsamları daha basit. Ancak konumuz kesinlikle bu değil! Biz burada insanlarla ilgili tek bir niteliğe odaklanıyoruz. Ayrıca atomlar da o kadar basit değiller, bizler atomların yalnızca manyetik niteliklerine bakarak

onları basitleştirmeyi seçiyoruz. Gene de insanlar çok daha komplikedir, ancak şu an için sadece politik seçimlerini bilmek istiyoruz ve pratikte bu oldukça kolay olabilir.

Konuyu bu yönüyle biraz daha tartışalım. Elbette atomlarla insanlar arasındaki can alıcı fark insanların özgür iradeye sahip olmalarıdır. Otonomdurlar, kendi kararlarını alabilir ve kendi yazgılarını çizebilirler. Atomların bunu yapma becerileri yoktur. Bu özgür irade meselesi oldukça girift bir meseledir. Kitabın bir başka bölümünde üzerine tartışacak olsak da burada da söylenecek birkaç sözümüz var.

Diyelim ki insanların bir caddede, örneğin Londra'daki Oxford Caddesi'nde yürürken çekilen uydu görüntülerine bakıyorsunuz. Görüntülere Google üzerinden bakıyorsanız tek tek bireylerin kimler olduğunu anlayamayacaksınız (ama eminim CIA ya da MOSSAD daha iyi bir çözünürlük sağlayabilir). İnsanlar iki düz çizgi üzerinde –Oxford Caddesi'nin kaldırım kenarlarında– yürüyen noktalar olarak görünecekler. Orta kısımda trafiği temsil eden daha büyük noktalar var ancak şimdilik bunu görmezden geleceğiz.

Şimdi noktaların nasıl hareket ettiğini gözlemliyorsunuz. Caddede aşağılı yukarılı hareket ediyorlar ancak sağa ve sola da belirgin bir hareket var çünkü noktalar birbirlerinden kaçınarak yürüyor. Şimdi birinin size noktaların hareket ettiği bu görüntüyü gösterdiğini ancak noktaların insanları temsil ettiğini söylemediğini düşünün. Sadece hareketlerine bakarak yaşamayan şeyleri (atomlar ya da birbirine çarpıp farklı yönlere dağılan bilardo topları) değil de, yaşayan (hatta zeki) şeyleri temsil ettiklerini söyleyebilir miydiniz?

Atomların ya da insanların hareketleri hemen hemen aynı olduğu için (ya görmek ve hareket etmek suretiyle ya da elektrostatik geri tepme yoluyla kendi usullerince ikisi de çarpışmalardan kaçınıyorlar) büyük ihtimalle ayrım yapama-

yacaktınız. İkisi de bir difüzyon süreci, yani bir yöne doğru (aşağı ve yukarı) tümden bir akıştır, ancak nadiren görülen bazı rastlantısal düzensizlikler de görülebilir. İşte tam olarak bu konuyu, yani canlı ve cansız varlıkların çok benzer bir tarzda davranmaları olgusunu açıklamaya çalışacağım.

Şimdi faz geçişleri ve insan toplumları konusuna geri dönelim. Bir sistemler zincirimiz olduğunu ve her sistemin yalnızca iki komşusuyla etkileşimde bulunduğunu varsayalım. 1920'lerde doktora çalışmasını yapan Ernest Ising bu tür bir sistem üzerine düşünen ilk kişidir. Ancak ne yazık ki Ising bu tür bir modelde faz geçişi olmadığını kanıtlayarak kesin bir sonuca vardı. Yani atomlar bu tür bir zincirdeki küçük mıknatıslar olarak düşünüldüğünde, dışarıda ne olursa olsun asla ve kat'a spontane bir şekilde aynı hizaya gelemiyorlardı. Belli ki bu sonuç faz geçişlerini mikroskobik olarak açıklamayı uman Ising için tam bir düş kırıklığı oldu ve doktorasından sonra fiziği tümüyle bıraktı!

Ising'e kötü haber 20 yıl sonra Lars Onsager'den geldi. Özene bezene yazılmış bilimsel makalesinde, zincire bakmak yerine atomların iki boyutlu dizilimlerine baktığımızda yeterince düşük sıcaklıklarda faz geçişi gerçekleştiğini görebileceğimizi gösteriyordu. Onsager bu keşfiyle kimya dalında Nobel ödülünü aldı. Ardından faz geçişleri konusundaki araştırmalarda bir zenginleşme başladı ve bu süreç bir dizi temel keşif ve çeşitli Nobel ödülleriyle sonuçlandı (Anderson da bunların içindedir).

Faz geçişleri konusunda alınan bence en çarpıcı sonuçlardan biri oldukça genel "no-go"[38] teoremleridir. No-go teoremleri bazı belirli türdeki davranışları bertaraf eden ve ayrıntılara girmeyen sonuçlardır. Ising'in vardığı sonuç da tek boyut-

38 Türkçe: Boşuna, faydasız.

ta (zincirler) faz geçişleri olmadığını ileri süren bir tür özel "no-go" teoremiydi. İlginç olansa aynı şekilde iki boyutta da (düzlemler) genel faz geçişleri olmadığını gösterilebiliyor olmasıydı. No-go teoreminin iki boyutluluk durumundaki tek istisnası Onsager'in çözümlediği modeldir (en azından Onsager cephesinde haberler iyi!). Buzun suya ve suyun buhara dönüşmesindeki çıplak gerçeklik evrenin en az üç boyutlu olduğunu zaten gösteriyor.

Her neyse, tüm bunların insan toplumlarıyla ne ilgisi var? Mesela yukarıdaki sistemlerdeki atomlara küçük mıknatıslar olarak değil insanlar olarak bakmayı deneyin! Evet yukarıdaki yorumumuzda atomlardan daha komplike olduğumuzu söyledik ancak son derece basit olan bazı niteliklerimiz de var. Bir insanın politik yatkınlıklarını düşünün. Diyelim ki bir toplumda muhafazakâr ya da liberal olmak gibi iki şansımız var. Bu iki durum, sağı ve solu gösteren iki durumlu bir mıknatısın insan toplumuna uygulanmasından ibarettir (bazı kiniklerin "iktidarda olmanın" ya da "iktidarda olmamanın" politikada daha çok önem arz ettiğini söyleyebileceklerinin de kesinlikle farkındayım).

Şimdi genel itibariyle bir toplumun bazı üyeleri muhafazakâr, bazı üyeleri de liberal olabilir. Ancak varsayalım ki şöyle bir soru soruyoruz: Hangi koşullar altında toplumun tüm üyeleri, diyelim liberal olabilir? Ising'in vardığı sonuç uyarınca konuştuğumuzda şu çıkarımı yapabiliriz. Eğer her bir üyesi yalnızca en yakın iki komşusuyla (daha fazla değil) politika konuşan basit bir toplumumuz varsa, tamamıyla liberal bir toplum oluşmasının mümkünü yoktur. Asla spontane bir liberalliğe sahip olamayız ve daima birtakım muhafazakârlarla yaşamaya zorlanırız!

Sonuç olarak tek boyutlu bir toplumu tanımlamak son derece kolaydır ve orada sürprizsel değişiklikler yoktur. Bu tür

bir toplumu *Goodfellas* adındaki sinema filminde gözlemleyebiliriz (bu toplum gerçekten de liberallikten son derece uzak). Mafyanın esas patronu capo di tutti capi'nin ismi Pauly. Yalnızca en yakınındaki iki adamına emir veriyor ve başkalarıyla nadiren konuşuyor. O iki adam da en yakın dostlarıyla konuşuyor ve bu aynı biçimde sürüyor. Bu hem FBI'ın mafyadaki kilit adamları bulmasını engelleyen bir güvence sağlamış oluyor hem de mafyanın kendi içinde istikrar sağlıyor. Böylece mafyanın bir bütün olarak bir faz geçişi yaşayıp belirgin bir davranış değişikliği yaşantısına girmesi de (yeni bir lider seçimi ya da birkaç serseri muhbir yüzünden tümden dağılma durumu) nerdeyse hiç mümkün olmuyor.

Oysa ilginçtir ki herkesin birbiriyle etkileşimine izin verdiğimiz durumda tek boyutta bile faz geçişleri yaşanabiliyor. Şimdi, gerçek dünya bu iki ucun ortalarında bir yerlerdedir. Hiçbirimiz sadece iki komşumuzla konuşmayız ya da içimizde dünyadaki herkesle iletişim kuran biri yoktur. Daha önce de belirttiğim gibi aile, arkadaş ve tanışlık döngümüz içinde yeterince iletişim kurduğumuz kişi sayısı genellikle 200 civarındadır.

Aslında diğer insanlarla kurduğumuz bir dizi iletişim, güç yasası dağılımının[39] sonucudur. Çok sayıda insan tanıyan kişilerin sayısı daha az insan tanıyanların sayısından daha azdır. Ve bu iki sayının oranı, kitapta daha önce bahsedilen Zipf'in harf sıklığı yasasına benzeyen mutlak bir yasaya tabidir. Daha ayrıntılı söyleyecek olursak, 1000 bağlantısı olan kişilerin sayısı 10 bağlantısı olan kişilerin sayısından bir milyon kez daha azdır. İngilizce'de daha uzun sözcüklerin daha az işitilme olasılığı olması gibi, çok fazla bağlantısı olan insan sayısı da istatistikî olarak neredeyse olasılıksızdır.

39 İng: Power Law Distribution.

Bağlantı sayısındaki bu eşitsizlik bizi, çok yakın insanların arasında yoğun bir etkileşimin olduğu ve bazen de uzaktaki bir insanla uzak mesafeli bir iletişimin yaşandığı çok önemli bir modele götürür. Bu model "küçük dünya ağı" olarak adlandırılır ve hastalıkların neden ve nasıl hızla yayıldığını açıklamak için mükemmel bir yöntemdir. Hastalandığımız zaman başımızdaki illet önce en yakın komşularımıza sıçrar. Sonrasıysa sadece bir komşumuzun uzun mesafeli bir uçak yolculuğuna çıkmasına bağlıdır, böylece virüs uzak yerlere taşınmış olur. İşte bu yüzden domuz gribi ya da insanları öldürebilecek diğer başka potansiyel virüsler karşısında bu kadar endişeleniyoruz.

Gelin şimdi bazı insanların doğru ya da yanlış bir şekilde inandığı bir durum üzerine düşünelim. Bu kişiler bilgi devriminin toplumumuzu, geçmişte yaşanmış herhangi bir devrime kıyasla –önceki bölümlerde bahsedilen sanayi devrimi gibi– daha fazla dönüştürdüğünü ve dönüştüreceğine inanıyorlar. Manuel Castells gibi kimi sosyologlar internetin tarih boyunca yaşanan her türlü dönüşümden çok daha kuvvetli bir dönüşüm yaratacağına inanıyorlar. Castells'in mantığı faz geçişlerine dayanıyor, ancak bir sosyolog olduğu için, bu geçişleri matematiksel biçimde yorumlayan bir fizikçiyle farklılıkları olabilir.

Şöyle açıklayalım. Eski toplumlar çok "yereldiler". Bir kabile bir tarafta ve diğeri de ona pek yakın bir yerde yaşıyordu, ancak aralarında çok az iletişim vardı. Hatta on dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru bile fikir transferleri ve genel anlamda iletişim son derece yavaştı. Yani insanlar uzun süreler boyunca iletişimin son derece kısa erimli olduğu toplumlarda yaşadılar. Fizik bilimi açısından bakıldığında bu durum ani değişimlerin imkânsız olduğu anlamına gelmektedir. Toplumların diğer başka karmaşıklıkları vardır, bu yüzden şöyle

söylemeliyim: Temel değişim "imkânsızdan" ziyade "olasılıksızdır". Son yıllarda artan teknoloji sayesinde çok uzak ve kapsamlı seyahatler yapabiliyor ve internet sayesinde pek çok şey öğrenip dünyanın herhangi bir yerindeki herhangi bir insanla sanal olarak iletişim kurabiliyoruz.

Önceki dönem toplumları daha çok Ising modeline örnek teşkil ederken, daha sonraki toplumlar daha çok küçük dünya ağları biçimindedir. Ancak giderek herkesin herkesle etkileşim kurabileceği bir evreye doğru yaklaşıyoruz. İşte bu tam da faz geçişlerinin giderek daha olası olduğu bir evredir. Para (ve hatta emek) gezegenin bir ucundan diğer ucuna birkaç saniyede hatta daha da hızlı yolculuk edebiliyor. Bu durum elbette toplumumuzun tüm unsurlarını etkiliyor.

Sosyal yapıları bilgi teorisi bağlamında analiz etmek sıklıkla sezgilere aykırı bazı öznitelikleri de açığa çıkarır. İşte bu yüzden bilgi teorisinin diliyle aşina olmak önemlidir. Çünkü biçimlendirilmiş bir çerçeve olmadan, birtakım sarsıcı ve keza güzel etkilerin kökensel nedenleri yönüyle kavranmaları zor olacaktır. Modern toplumdaki ayrışmayı (segregation) ele alalım. Los Angeles'ta bugün beyaz Amerikalılar, Afro-Amerikanlar ve İspanyol Amerikanlar için sınırları açıkça belirli olan farklı bölgeler bulunmaktadır. Bu ayrım yasa gereğince yukarıdan empoze edilmediyse (ki edilmemiştir ve herkes istediği bölgede özel mülk alabilme hakkına yasal olarak sahiptir), buradan bu insanların bir avuç faşist oldukları sonucunu mu çıkarmalıyız? Schelling'in hayır cevabı bu noktada şaşırtıcıdır, çünkü en liberal fikirli topluluklar dahi ayrışmış bir halde karşımıza çıkabiliyor. Bu bağlamda ayrışma durumu, daha önce tartıştığımız faz geçişlerine çok benziyor.

Schelling toplumsal ayrışmanın simülasyonunu yapabilmek adına, daha önceki bölümlerde tarif edilen mıknatısta oluşan faz geçişi modeliyle paralel olan basit bir model kulla-

nıyor. Siyah ve beyaz parçaları üzerine rastgele yerleştirebileceğimiz iki boyutlu bir levha düşünelim. Toplumlarla paralellik kurarsak levhadaki durumu son derece liberal ve karmaşık bir toplulukla ilişkilendirebiliriz (mıknatıs örneğindeyse bu durum tüm küçük mıknatısların tümden farklı yönlerde hizalandığı tamamen düzensiz bir hale tekabül eder).

Şimdi biraz devim bilim çalışıp ayrımın nasıl ortaya çıktığını inceleyelim. Schelling şu kural üzerinde çalıştı: Her bir parça etrafında kendi komşularını arar ve belirli sayıda farklı renkli komşu görürse başka bir yere devinme kararı alır. Burada aşırı derecede ırkçı bir yaklaşımın ayrımcılığa yön verdiği açıktır (yani her bir parça komşusu farklı renkte diye başka tarafa yönleniyorsa olay budur). Ancak Schelling'in burada bir sürprizi var. Son derece liberal bir tavır takınmanız ve sadece komşularınızın tümü farklı bir renkte olduğu zaman hareket etmeniz bile bizi ayrışmış bir topluma götürüyor. Ising modelindeyse bu durum, en küçük bir etkileşimin dahi faz geçişi yaratmaya yeteceği anlamına geliyor. Böyle bir modelde etkileşimler, tıpkı Schelling modelinde komşuların ırksal olarak homojen hale geçmeleriyle aynı biçimde, iki dönünün de kendilerini aynı hizaya sokmaya zorlamaktadır (burada okuyucuya hatırlatalım: Bir şehir iki boyutlu bir yapıyla benzeşir ve tek boyutlu yapının aksine iki boyutlu ortamda Ising modeli faz geçişlerini ortaya koyar).

Bu konu üzerine düşünmenin en doğal yolu karşılıklı bilgi bağlamında inceleme yapmaktır. Tamamen düzensiz olan ilk durumda pek az karşılıklı bilgi bulunmaktadır, çünkü tek bir parçaya bakarak komşunun rengini çıkarımlamak zordur (tanım gereği, parçalar düzensiz bir davranımla tertiplenirler). Bununla birlikte maksimum ayrışmış bir toplumda karşılıklı bilgi de maksimum düzeydedir, yani tek bir parçaya bakarak onu çevreleyen tüm parçaların rengini çıkarsayabiliriz.

Tıpkı daha önce konuştuğumuz faz geçişleri gibi, karşılıklı bilgi burada da ayrışmış bir toplumun işaretidir (ayrışmış bir toplum mıknatısların düzenli halini yani tamamının kolektif olarak davrandığı bir durumu temsil ederdi).

Schelling modelini iyice anlayabilirseniz onun sadece ırkçı ayrımlara uygulanmak zorunda olmadığını da çabucak göreceksiniz. Bu model bir toplumdaki her türlü gruplaşmaya uygulanabilir. Politik, finansal, sosyal ve entelektüel ayrımlar da aynı mantık yoluyla öğrenilir ve anlaşılabilir.

Burada toplumları çok fazla basitleştiriyoruz ama yine de yaptığımız analiz kesinlikle birtakım gerçeklik öğeleri içeriyor. Bunları anlayabilmek adına gelin basit bir soru soralım ve kestirim gücümüzü test edelim. Tipik bir toplumda refah ve varlık dağılımı nasıldır? Bu soru geçen bölümde tartıştığımız kumar unsurlarıyla şimdi tartıştığımız sosyal unsurları birleştiriyor.

Öne sürdüğümüz üzere her toplumun temeli bilgiyse, optimize bilgi bir toplumdaki refah dağılımı hakkında bize bir şeyler söyler mi? Cevap hem evettir hem de hayır. Önce hayır kısmını açıklayayım.

Shannon bilgi teorisini optimize ederken adına Gaus ya da çan eğrisi dediğimiz bir olasılıklar dağılımı elde ederiz. Gaus dağılımlarının doğada aynı anda her yerde bulunma durumunu ilk anlayan Alman matematikçi Karl Friedrich Gauss'tur ve dağılıma adı verilmiştir. Bir gazdaki atomlar hızlarını Gaus dağılımına göre düzenler. Çoğu atom orta-erimli bir hızda (saniyede 500 metre diyelim) hareket eder. Öyleyse aynı derecede daha küçük sayılar da saniyede 400 ile 600 metre arasında hareket ederler. Saniyede 500 metre ortamından uzaklaşırken, kaydettiğimiz atom sayısı da kısa sürede düşer. Bu Gaus dağılımının ana özelliğidir ve çan şeklinde bir profil oluşturur.

Çoğu toplumda gelir ve dolayısıyla refah dağılımı Gaus modeline uymaz. Bu toplumlarda güç yasası işler. Yani çok varlıklı bireylerin sayısı pek azken, yoksulların sayısı çok fazladır. Eğer gelir refah düzeyi Gaus dağılımına göre olsaydı, insanların çoğu spektrumun zenginler ve yoksullar bölümünden ufak ölçüde sapmalarla orta kısımda bir yerlerde olurdu. Yazık ki şu ana kadar var olan hiçbir toplumda (hatta Sovyetler Birliği gibi geçmişte kalan totaliter komünist rejimlerde bile) böyle bir şey olmadı.

Peki güç yasası dağılımı nereden geliyor? Banka hesabınızda bir milyon dolarınız olma olasılığı, 1000 dolarınız olma olasılığından neden 1000 kat daha düşük? Aslında güç yasasının söylediği şey tam da budur. Eğer ülkede 100 milyoner olsaydı, sadece 1000 doları olan 100.000 kişi olurdu.

Şimdi bunun neden böyle olduğunu anlamaya çalışalım. Eksiksiz bir cevap verilemeyecek olsa da bazı tahminler yapabiliriz (eğer cevabı bilseydim hemen Stockholm'e bir bilet alır, ekonomi dalında Nobel ödülünü almaya giderdim). En avantajlı açıklamayı "zenginler zenginleşir" diye adlandırılabilecek bir ilke sağlıyor. Basitçe söyleyecek olursak zenginlik yalnızca zenginliğe zenginlik katmakla kalmıyor, aynı zamanda zenginliği çoğaltıyor. Daha fazla servet sahibi olanlar orantısal olarak daima daha da zengin olurlar ve böylece mülk sahibi olanlar ve olmayanlar arasındaki uçurum da güç yasası gereğince giderek büyür. Herkes eşit şekilde iyi durumda başlasa bile, insanların bahtındaki küçük rastlantısal farklılıklar (kimileri borsada kazanacak, kimileri kaybedecek) er ya da geç giderek büyüyecektir.

Peki bu durum bilginin gelir dağılımıyla bir ilgisi olmadığı anlamına mı geliyor? Elbette hayır. İnsanlar varlığı yalnızca kendileri elde etmezler, her tür sosyal mekanizma vasıtasıyla bir dizi iletişim ağını da kullanırlar. Sosyal etkileşimler kar-

maşıktır ve tüm toplumların önemli mevzularında paralellik gösterirler. Son derece girift olan sosyal dinamikler kısa zamanlı skalalarla değişirler.

Bu anlamda bilginin toplamsal bir niteliği olmamasını bekleriz. Toplamsal nitelik konusu Bölüm 3'te Shannon entropisini açıklarken geçmişti. Yani iki bağımsız olayın ihtiva ettiği müşterek bilgi, tek tek iki olayın bilgi içeriğinin toplamına eşit olmak zorundaydı. Bu durumda toplamsallık iş görmüyorsa bilginin doğru ölçümü de artık Shannon kriterlerinde olmamaktadır. Brezilyalı fizikçi Constantino Tsallis toplamsal-olmayan ölçümler üzerine geniş çaplı çalışmalar yaptı. Refah ve zenginlik neden toplamsal değildir? Burada gördüğümüz gibi bir parça varlığa sahip olmak ve daha da kazanmak sadece iki şeyin toplamı demek olmuyor. Zenginlik sadece yekûne bir şeyler eklemekle kalmıyor, süper artırımlar da yapıyor! Burada ekonomideki artan getiriler ilkesine (Bölüm 6'da bahsetmiştik) bir başka açıdan bakılıyor. Refah korunumlu bir nicelik olmadığı için bir çelişki söz konusu değildir. Refah hiçlikten yaratılabilir (hiçlik derken bahsettiğim şey "ilk başta refahın bulunmayışıdır", herhangi bir fiziksel kaynağın yokluğu değildir).

Shannon teorisiyle ilgili farklı ancak yine olasılığın ters fonksiyonu ilkesi dahilinde bir formül kullanırsak, güç yasası dağılımını açıklayabiliyoruz. Sonuç olarak sosyal dinamiklerin ve istikrarın kilit yönlerinden birisi –gelir dağılımı konusu– yalın bilgi teorisinin bir sonucudur. Gerçek formunda Shannon teorisinin sonucu olmasa bile özü bağlamında öyledir.

Bazı sosyologlar, bilgi çağının insanlığı tüm bireylerin yaşam koşullarının düzeldiği daha adil toplumlara taşıdığına inanıyorlar. Bu optimist sosyologlara göre bilgi çağı mülk sahibi olanlarla olmayanlar arasındaki uçurumu küçültüyor. Diğer bazı sosyologlarsa oldukça pesimistler ve yeniçağın be-

raberinde getirdikleriyle (ailelerin parçalanmasıyla suç oranlarının artması, küresel terörizm, küresel ısınma gibi mekanizmalarla) insanlığı ani bir sona, bir tür faz geçişine sürüklediğini düşünüyorlar.

Bilgi teorisinin geleceğin bize ne getireceğini söylemesi pek mümkün gözükmüyor ancak bir şeyden eminiz. Tüm dünyanın birbiriyle olan bu bağlantılılık hali karşısında düşünme ve karar alma hızımızı geliştirmemiz son derece faydalı olacak. Öğelerinin birbiriyle daha fazla bağlantılı olduğu bir toplumda ani değişimlere daha elverişli hale geliriz. Karşılıklı bilgi son derece hızlı artıyor ve eğer doğru kararlar almak istiyorsak kendi bilgi işleme sürecimizin düzenli ilerlediğinden de emin olmak zorundayız. Görünüşe bakılırsa gelecek hem cesur hem de en hızlı olanları destekleyecek.

Bilginin çeşitli sosyal, biyolojik ve fiziksel fenomenlere zemin teşkil ettiğini gördükten sonra şimdi tartışmayı ileri bir seviyeye taşımaya hazırız. Bu bilginin nereden geldiği, evrende ne kadarının bulunduğu ve nasıl en hızlı biçimde işlenebileceği sorularına geri dönüyoruz. Bu sorulara verilen cevaplar kitapta şu ana kadar incelediğimiz bölümlere temel oluşturuyor. Bilginin nihai kökenlerini anlamak için heyecanlı bir keşif gezisi yapmalıyız. Bu gezi bizi kuantum mekaniği diyarlarına, rastlantısallığın gerçek doğasına, ışınlanma olasılığına ve özgür irade ve determinizm sorunsalına götürecek. Yol üzerinde hırçın dalgalar var, sıkı tutunun!

Anahtar Noktalar

- Korelasyon[40] içindeki sistemler bazı ortak bilgileri paylaşan sistemlerdir.
- Bir toplumdaki bireyler çeşitli etkileşimler (örneğin iletişim) yoluyla birbirleriyle korelasyon kurarlar.
- Toplumlar birbiriyle korale olmuş bireylerin ağ örgüleridir. Korelasyonun ve ağ örgüsünün seviyesi ne tür bir toplum olduğumuzu belirler.
- Çoğu toplum şu iki uç arasında gidip gelir: Tamamen bağlantılı ya da ya da tamamen bağlantısız bireyler. Bu toplumlar küçük dünya ağlarına örnektir ve çeşitli hastalıkların yerküreye yayılmasından tutun da, kazanan parsayı toplar[41] ya da fit olun zengin olun[42] tarzında ilkeler gibi pek çok sosyal fenomeni de açıklarlar.

40 İlgileşim, bağıntı.

41 İng: The winner takes all.

42 İng: To the winner-takes-all and fit-get-rich principles.

İKİNCİ BÖLÜM

Şimdiye kadar gerçekliğin çeşitli yönlerini bilgi bakımından tartıştık ve bilgi teorisinin gerçekliğin farklı yönlerine dair güçlü bir tanım ortaya koyabildiğini gördük. Shannon, teorisini türetirken bilgiyi, iki farklı taraf olan Alice ve Bob arasındaki iletişime dair çok spesifik bir problem olması bağlamında tanımlıyordu. Bu problemin ötesine geçerek teorisinin uygulanabilirliği konusuyla hiç ama hiç ilgilenmedi. Ancak teorisinin gücünü tam da bu noktadan aldığı ortaya çıktı. Shannon çok mu şanslıydı yoksa yaklaşımında bilgi teorisini böylesine geniş kapsamlı uygulanabilir kılan daha temel bir şey mi vardı?

Bilgi teorisi en derininde sorulabilecek en temel soruyu sorar: A olayı, B olayından farklı mıdır (ayırt edilebilir midir)? Gelin olaya şöyle bakalım ve doğru cevapla yanlış cevabı ayırt edemediğiniz bir noktada bir şeyi öğrenmeye ve tanımlamaya çalıştığınızı düşünelim. Bunu yapamayacağınız açıktır! O noktada gerçekten de şuursuzsunuzdur. Her şeyin özdeş göründüğü ve ayırt ediciliğin olmadığı bir durumda evrenimizi kavrama ümidimiz de olmazdı. Okuduğunuz kitabın ilk bölümünde ayırt edicilik kavramının pek çok farklı biçimde uygulanabilir olduğunu gördük. Örneğin biyolojide, DNA

kendini çoğaltırken dört farklı baz arasında seçim yapar. Termodinamikte Maxwell şeytanı, kabın iki tarafında sıcaklık farkı yaratmak için, hızlı hareket eden partiküllerle yavaş hareket edenleri ayırt etmek zorundadır. Bir kumarhanedeyseniz en azından iki farklı senaryo üzerine bahse girersiniz ve olasılıkları kavrayışınız kârınızı belirler. Sosyolojide bireyin liberal olup olmadığı ayrımını yaparız ve bu muhitinizde yaşamayı sürdürme olasılığınızı etkiler.

İki durumun ayırt edilebilirliğini ilgilendiren bu temel kavram, temelinde Shannon'ın bilgi biti (ikili sayı) olarak adlandırdığı konudur. Bit, bilginin en temel ölçümüdür; elinizde iki sonuçtan fazlası olduğunda onları ayırt etmek için daha fazla bit kullanırsınız.

Eğer olaylardan yalnızca biri oluşursa iki olayın ayırt edilebilirliğinden bahsetmek de elbette saçma olacaktır. Sonuç olarak iki olaydan hangisinin oluşacağı olasılığını bilmemiz gerekmektedir. Çünkü tek bir sonuçtan fazlası varsa ayrım yapabilir, sonrasında da bu sonuçlar doğrultusunda tekrar tekrar olasılıklar üretebiliriz. Bir olayın olma olasılığı bize olayın oluşma beklentisini verir. Bu beklentiyse olay olduğunda yaşadığımız şaşkınlığın derecesini nicelememizi sağlayan şeydir. Eğer bir olayın oluşmasını yüksek olasılık dahilinde bekliyorsak, olduğunda o kadar da çok şaşırmayız (örneğin güneşin doğması) ve olmadığında da birazcık şaşkınlığa düşeriz.

Tüm bunlar öylesine doğal ve temel konular ki (gerçi önemlerini biraz geç fark ettik) koltuğunuza oturup biraz düşünürseniz kendinizi Shannon'ın ortaya koyduğuna benzer bir çerçeve dahilinde düşünürken bulursunuz. Bu açıdan bakıldığında Shannon'ın bilgi kavramının epeyce sezgisel olduğunu kabul edeceksiniz.

Peki öyleyse yolun sonuna mı geldik? Shannon bilgi teori-

siyle zırhlanmış bir biçimde artık tüm problemleri bilgi bağlamında genelleştirebilir miyiz? Henüz değil. Shannon'ın bilgi teorisi her gün karşılaştığımız fiziksel, biyolojik, sosyal ve ekonomik fenomenlerle aynı mantıksal temele sahip olduğu için geniş kapsamlı uygulanabilir olsa da her şeyi kapsamamaktadır. Shannon bilgi teorisi Boole mantığına dayanan olayların örneğin birkaç sonucu olan bir olayın sonuçlarından birinin ya da birkaçının gerçekleşmesi ya da gerçekleşmemesi gibi, özünü oluşturur. Zarı attığınızda ya 3 gelir ya da gelmez (hem 3'ü hem de 6'yı aynı anda atamazsınız). Bu herkesin kolayca anladığı mantıksal temellendirmenin okuyucuya abesle iştigal göründüğünü bilsek de evrene dair güncel kavrayışımızın tam tersini söylediğini göreceğiz.

Olay temelli Boole mantığı erken dönem fizik bilimine ait çok önemli bir niteliktir. Tıpkı Shannon bilgi teorisinin mutlak bir sonuç fikrinde temellenmesi gibi (A olayının ya da B olayının oluşmasını bekleriz ama asla ikisinin birlikte olmasını değil) daha önceki fizik modellerimiz aynı şekilde biçimleniyordu. Genellikle klasik fizik ya da bazen Newton fiziği diye adlandırılan daha önceki fizik modelleri bugüne kadarki teknolojik gelişme sürecinin önemli bir kısmından da sorumludur. Bu fizik, okulda öğrendiğimiz her bir partikülün yükünün, pozisyonunun, hızının ve kütlesinin güzelce tanımlandığı türden bir yapıdadır. Klasik fizik evrendeki tüm partiküllerin bu özelliklerini bildiğimiz takdirde gelecekteki her olayın sonucunu belirleyebileceğimizi, diğer bir söyleyişle evrenin tamamen determinist bir yapısı olduğunu iddia ediyor. Aslında tamamen determinist olan imgesel bir varlık bile var. Laplace'ın gayet sevecen bir şekilde sunduğu şeytanı evrendeki her ama her bir partikülün tüm niteliklerini biliyor ve buna bağlı olarak herhangi bir olayı belirleyebiliyor (geleceği görebilmeye benzer bir şey). Bu şeytana göre bilgi kavramı tama-

men lüzumsuz, çünkü ona ihtiyacı yok, çünkü oluşacak her şeyi zaten kesinkes biliyor. Bu şeytanın yaşadığı evren ne sıkıcı! Samuel Jackson da şu sözleriyle hemfikir olduğunu gösteriyor: "Öyle bir hayat ki değişim önceden tahmin edilebiliyor ve hiç kimse mutlu değil."

Laplace şeytanı için bu determinist evren böylesine determinist ve tahmin edilebilir de olsa, çok şükür ki bilimsel süreç ve özellikle fizik sürprizlerle doludur. Fizik son derece dinamik bir aktivitedir. Bizler gerçekliği tanımlamak üzere bir model yapılandırır yapılandırmaz bir deney ortaya çıkıveriyor ve tüm bakış açımıza meydan okuyor. Fizik zaman içerisinde böyle böyle evriliyor, daha ve daha fazla bilgiyi hesaba katıyor ve gerçekliğin daha iyi bir tanımını vermek üzere yeni deneyler ve kavrayışlar geliştiriyor. Şimdi soru şu: Klasik fiziği "klasik" yapan şey nedir? Yani şehre yeni gelen kovboy kim?

Gerçekliğin belirli yönlerine dair son zamanlardaki kavrayışımız şu şekilde gelişiyor. Gerçeklik, fizikte "kuantum teorisi" diye bilinen daha yüksek bir kestirimle daha kesin olarak tanımlanabiliyor. Kuantum teorisiyle birlikte determinist evren nosyonu çöküyor ve olaylar, sahip olduğunuz bilgi miktarı belirleyici olmaksızın daima olasılıklarla oluşuyor. Böylece Laplace'ın şeytanı bırakın pratikte var olmayı ilkesel olarak dahi söz konusu olamıyor (yani kristal bir kürede bir gerçeklik ya da Delphi tapınağında Yunan bir kâhin falan yok). Sürprizlerle dolu olan şey yalnızca fizik değil, evrenin kendisi de doğası gereği sürprizlerle doludur.

Peki öyleyse bu yeni fizik kavrayışımız yani kuantum teorisinin takdimi, Shannon bilgi teorisi bağlamında nasıl değerlendiriliyor? Shannon bilgi teorisini kuantum gariplikleri üzerine kurmadı. Peki biz tüm evreni tanımlamak üzere yola çıktıysak Shannon bilgi teorisinin temel direkleri hâlâ sağlam

mı? Evet ama yeni bir yaklaşım zemininde. Ayırt edicilik ve olasılıklar kuantum teorisinde bile temel noktalardır, ancak ayırt edicilik konusunun kuantum etkilerinin acayipliklerine açıklama getirebilmesi noktasında geliştirilmesi gerekir. Ayrıca Shannon bilgi teorisini açımlamaya kalktığımızda gerçekliğe dair çok sayıda ek unsur olduğunu görüyoruz ve bunların bizden tamamen saklanmış olduğunu fark ediyoruz.

Kitabın ikinci bölümünde bilgi teorisini genişleterek uygulamaya koyuyor, Shannon bilgi teorisi yoluyla en saf haliyle açıklanamayan bir dizi alışılmadık niteliği kuantum teorisi vasıtasıyla sunuyoruz. Shannon teorisine bazı noktalarda kuantum teorisi yoluyla yaklaşabiliyoruz ve bunların arasında kitabın ilk bölümlerindeki konular da bulunuyor. Ancak kitabın bu bölümünden itibaren artık böyle bir lükse sahip değiliz; şu andan itibaren tam bir kuantumsallık gerekiyor. Kuantumsallık bizi, devasa mesafeler arasında bilgi ışınlama kabiliyetine, hayal edebileceğimizden çok daha hızlı bilgisayar hesaplarına, hiç kimseler dinleyemeden iletişim kurmaya ve asla deşifre edilemeyen bilgisayar yazılımları yapabilme gücüne sahip olmak gibi yeni ve büyüleyici bilgi işlem süreçlerine götürüyor. Ancak esas sürprizi evreni kavrayışımızı kökünden sarsıp, bizi evrenin en derindeki özüne dair yeni öngörüler geliştirmeye sevk etmesiyle yapıyor.

Eski Amerika Devlet Bakanı Donald Rumsfeld, bazı bilinmez bilinmeyenler şimdi artık bilinen bilinmezler ya da bilinen bilinenler haline geldiler diyerek farkında olmadan Shannon bilgi teorisinden kuantum teorisine son derece güzel bir geçiş yapmıştı. Kuantum görüşü daha bir dolu bilinmez bilinmeyen olduğu gerçeğini dışlamıyor, yani hâlâ ne bilmediğimizi bilmiyoruz. Öyle ki dört gözle beklediğimiz daha bir sürü şey var!

Neyse ki kuantum mekaniği Rumsfeld'in sözleri kadar ka-

fa karıştırıcı değil. İkinci ana bölümün ilk kısmında, kuantum bilgisinin son zamanlardaki gerçeklik tanımımızla örtüşmesi adına nasıl açık ve öz biçimde tarif edilebileceğini gösteriyorum.

8

Kuantum Schmuntum: Işıklar, Kamera, Aksiyon!

2005 ilkbaharında Leeds Üniversitesi'nde fizik bölümündeki odamda sınav kâğıtlarını okurken çalan telefon çalışmamı böldü. O sıralar bu tür kesintiler beni çok da şaşırtmıyordu çünkü birkaç hafta öncesinde popüler bilim dergisi *New Scientist*'te kuantum teorisi üzerine bir makalem yayımlanmıştı. Basın yayın organlarından ve ayrıca tek tek kişilerden gelen telefonlar çok sıklaşmıştı. Her ne kadar aralarında makaleyi hiç okumamış ya da çok fazla detayına inenler olsa da arayanların çoğu son derece heyecanlıydı ve bu ilginç konuda daha fazla bilgi edinebilmek için müthiş bir istek duyuyordu. "Kuantum mekaniği saçımın dökülmesini engelleyebilir mi?" türünden sorularla ikiz kardeşiyle paralel bir evrende karşılaştığını söyleyenler arasında değişen yorumlar başa baş gidiyordu ve bu tür sorularla karşılaşmadığım bir gün bile geçmiyordu. Oxford'da en yaratıcı, özellikle de kişinin bazı temel prensipleri çok iyi kavradığını fakat ardından bunları aşırı uçlara götürüp bu süreçte farkında olmadan diğer bazı fizik yasalarını ihlal ettiği türden soruların asılması için kullandığımız bir panomuz vardı. Bu tarz sorular bilimi hem açık ve yaklaşılabilir kılmak hem de onun pragmatik yönünü de

korumak adına bilimsel iletişim kurarken taşıdığımız sorumluluğu bize hatırlatmaya yarıyordu. Bir meslektaşımın da söylediği gibi, bazen bir parça fizikle çalışmak, hiç fizik olmadan çalışmaktan daha tehlikeli olabiliyordu.

"Merhaba Profesör Vedral, ismim Jon Spooner, tiyatro yönetmeniyim ve kuantum teorisi üzerine bir oyun hazırlıyorum," dedi ahizenin diğer ucundaki ses. "Oyunuma kuantum teorisinin bazı öğelerini serpiştiriyorum ve doğru yorumlayıp yorumlamadığımızı anlamak adına danışmanlığınızı rica ediyorum." Birkaç saniye boyunca tam anlamıyla afallamış bir vaziyette kendi kendime sordum, "Bu adam ne yapıyor?" Yanlış mı duydum yoksa gerçekten kuantum teorisi üzerine bir oyun mu çıkarıyor? Sonra birkaç yıl önce Michael Freyn'in oyunu *Copenhagen*'in başarısı aklıma geldi ve bir şekilde böyle bir arzunun doğabileceğini düşündüm. Kuantum teorisinin babalarından Danimarkalı Niels Bohr ve Alman Werner Heisenberg'ün 1941'deki buluşmalarını anlatan oyun gerçek bir olaya dayanıyordu. Oyunda kuantum teorisinin detaylarını açıklığa kavuşturma ya da nakletme çabaları dikkate değerdi ancak esas amaç bu değildi. Bu yüzden Spooner'ın oyunu konuya yeni bir yön verebilirdi. Neden olmasın diye düşündüm. Kısaca konuşup, ertesi sabah daha ayrıntılı konuşmak için buluşmak üzere sözleştik.

Bilim ve güzel sanatların sık sık hasım olarak düşünülmesi daha fazla keşfetmenin en çekici yanlarından biridir. Birilerinin ikisi arasında köprü kurmaya çalıştığını görmekse ayrıca ilgi çekici olabiliyor. Bu köprüyü kurmaya çalışanların ofisimden yalnızca 200 metre uzakta olmalarının da ayrıca faydası oldu (kim demiş teorik fizikçiler pratik değildir diye!).

Ertesi sabah çantalarımı ofise bıraktım ve Jon'ı görmek için tiyatroya gittim. Tiyatro, üniversitenin Doğu yakasındaki tarihî binalarından birinde bulunuyordu. Aynı binada 1898'de G.F

Danby tarafından inşa edilen Aziz David Kilisesi de bulunuyordu. Bu yapı Leeds'in merkezindeki en nadir ve en hoş gotik mimari örneklerinden biridir. Şu an bu kilise ilginç bir öğrenci tiyatrosuna ev sahipliği yapmasının yanı sıra Leeds'deki en güzel gece kulüplerinden biridir (Leeds sakinleri için orası uhrevi *Halo*[43] olsun)! Bazı kişiler bunun bir trend yarattığını, aktörlerin ve parti kelebeklerinin organize edilmiş dindarlıkla ilgilenen gruplarmış gibi göründüğünü düşünüyorlar.

İlk ziyaretimde tiyatroyu ve benden ne beklendiğini pek de bilmediğim için bir parça kaygılıydım. En kötü ihtimalle kuantum teorisi üzerine ezberden bir giriş döktürür ve her ihtimale karşı birkaç da diyagram gösteririm diye düşünüyordum. Ana salona girdiğimde birkaç gencin bir köşede hararetli bir tartışma içinde olduklarını gördüm. Başlarını kaldırınca beni gördüler ve el salladılar. "Hey Profesör Vedral, gelip oturun lütfen. Size birkaç sorumuz var." Her ne tartışıyorlarsa benim varlığımı da ilgilendiren bir şey gibi görünüyordu, çünkü ortaya çıkışım usturuplu bir canlılığa ve gayet içten bir dikkat dağınıklığına yol açtı. Formalitelere uyarak hemen konuya girdiler ve oyunda iki yerde de aynı anda bulunması gereken bir karakterin akla yatkınlığı ve inandırıcılığıyla ilgili birtakım sorular sordular. Kuantum teorisi ve ışınlanma hakkında bir şeyler duymuşlardı ve bunun mümkün olup olmadığını öğrenmek istiyorlardı.

Gruptan birkaçı bu fikre yatkın görünse de bazıları bu tip absürt bir kavramın kuantum teorisine herhangi bir temel sağlayabileceği konusunda şüphe duyuyordu. Ancak bu konu üzerinde her gün çalıştığımı söylediğimde elbette müthiş şaşırdılar (gerçi insanlarla deney yapmamam biraz hayal kırıklığı da yarattı).

43 Hale, ışık halkası.

Kuantum fiziğinin kalbinde indeterminizm (zorunsuzluk) kavramı olduğunu açıklayarak devam ettim. İndeterminizm bir nesnenin aynı zamanda birden fazla halde olabilmesi olgusuyla bağıntılıdır (örneğin demir parayı attığınızda aynı anda ya yazı ya da tura gelir). Teknik deyişle bu duruma kuantum süper-posizyonu denir. Kuantum mekaniğini anlamanın ve öğretmenin esas zorluğunun sebebi sezgilere sığmayan paradoksal doğasıdır –insanlar bunu ilk seferinde kabul etmezler (Einstein bile mezarına böyle olmadığına inanarak gitti).

Fizikte süper-pozisyonu tanıtlayan çok basit deneyi gruba anlatarak konuşmamı sürdürdüm. Bir ışık parçacığı olan fotonun demet bölücüyle karşılaştığını imgeleyelim. Demet bölücü üzerinde gümüş bir tabaka olan basit bir aynadır. Gümüş miktarını ayarlayarak fotonun yansıma ya da bölücüden geçme olasılığını ayarlayabiliriz. Diyelim ki bu olasılıklar eşit olarak ayarlandı ve böylece düzgün bir demir paraya tam olarak denk bir şeye sahibiz, yani yarı zamanda para bize tura (T) verirken yarı zamanda yazı (Y) verecek.

Tıpkı havaya atılan bir demir paranın yazı ya da tura olarak yere düşebilmesi gibi, demet bölücüye çarpan bir foton da eşit olasılıkla ya geçer ya da yansır (yani yansıma ve geçme eşit olasılıklı durumlardır). Bu deneyde iki dizi demet bölücü bulunmaktadır. Birbiri ardına sıralanırlar ve ilk bölücüyle gelen bileşke (sonuç) ışın, ikinci demet bölücüsünde yeniden birleşir. Bu deneyin bir demir parayı iki kere atmaya benzediğini düşünelim. Böyle bir durumda tüm o dört sonuç tamamen eşit olasılıklıdır, yani TT, TY, YT, YY. İlginçtir, fotonla yaptığımız deneyde sadece bir sonucu görebiliyoruz ve diğer sonuçlar asla oluşmuyor. Peki bu dümen nasıl dönüyor?

Fotonun ilk demet bölücünden tamamen geçtiğini ve sonra da özel bir yolla ikinci demet bölücüye girdiğini düşünelim. Eğer ilk demet bölücüden geçmeyip yansısaydı, ikinci

bölücüye farklı bir yolla girerdi. Ancak tüm bunların ötesinde hangi senaryonun gerçekleştiğini de bilmiyoruz. Ama birinden birinin doğru olmak zorundalığını biliyoruz. Foton hangi yoldan girerse girsin ikinci demet bölücüden benzer şekilde ya geçecek ya da yansıyacaktır. Sonuç olarak iki demet bölücüden sonra fotonumuz dört olası senaryo içinde olacaktır: YY (yansır, yansır), GY (geçer, yansır), YG ya da GG. Göreceğiniz üzere iki atıştan sonrasında benzer sonuçlar aldığımız demir para atma senaryolarına denk bir durumla karşı karşıyayız. Para atmanın sonuçlarının tamamen bu dört seçenekten birini verdiğini biliyoruz ama ortaya çıkana kadar ne yaşandığını bilemiyoruz. Ancak şaşırtıcıdır ki demir para yerine gerçek bir foton kullandığımızda aynı gözlemlediğimiz şey bu olmuyor. Gerçek foton ikinci demet bölücüden her zaman aynı yolla çıkıyor. İmkânsız mı?

Foton ilk ışık demeti bölücüsünden geçse de kalsa da aynı durumun ikinci bölücüde de olmasını bekleriz, yani 50/50 yansıma ya da geçme durumunu varsayarız. Bunun asla böyle olmadığını gördüğümüz için de, ilk ışık bölücüsünde ne olduğunu yeniden değerlendirmemiz gerekir. Tuhaftır ki çıkarabileceğimiz tek sonuç, hakikaten de aynı anda yansımanın ve geçişin gerçekleşmek zorunda oluşudur. Yani esasında söylemeye çalıştığım şey şu: Foton aynı anda iki uzaysal yerde var olabilmektedir. İki demet bölücünün tekrar tekrar aynı sonucu vermesi için kombine edilebilmesinin tek yolu budur.

Tıpkı kuantum mekaniğinin kurucuları gibi tiyatro grubu da bu durum karşısında tamamen şaşkına döndü. Ancak şaşkınlığını bir kenara bırakalım ve gerçeğe dönelim. Bir kuantum nesnesinin aynı anda farklı yerlerde var olması durumu deneysel anlamda şüpheye yer bırakmayacak şekilde doğrudur. Kuantum mekaniğinin doğuşundan beri bu durum pek

çok farklı şekilde doğrulanmıştır. Bir fotonun aynı zamanda iki farklı yerde olabileceğini gösteren başka bir kanıtla konuşmama devam ettim.

İlk demeti bölücü sonrasında, eğer foton yansımışsa onu yavaşlattığımızı, ancak geçiş yapmışsa hiç dokunmadığımızı varsayalım. Bu yavaşlatma işlemi ilk demet bölücüyle ikincisi arasına yarı-dalga plakası denilen standart bir optik aparat (aslında istenen bazı nitelikleri taşıyan basit bir kristaldir) yerleştirilerek yapılabilir. İlginçtir, ilk demet bölücüden sonra yansıyan bileşeni yavaşlatarak, ikinci demeti bölücüde olan biten şeyleri değiştirebiliyoruz! Foton öncesinde, yani yarı-dalga plakasının olmadığı durumda ikinci demet bölücüden sistemli bir şekilde daima yansıyarak çıkıyordu. Şimdiyse yarı-dalga plakasının yerleştirildiği bu durumda daima geçişimini sağlayabiliyoruz. İşte şu an tam da bir kuantum nesnesiyle (foton gibi) klasik bir nesnenin (demir para gibi) arasındaki farkın belirdiği düğüm noktasındayız. Foton demir para benzeri bir rastlantısallıkla hareket etseydi, bunu yapabilmemiz imkânsız olurdu. Demir parayı ilk atışımızdan sonra ikinci atışı tam bir kesinlikle belirlemek için yapabileceğimiz hiçbir şey yoktur. Demir para atışları tamamen bağımsızdır, mutlak surette ve düzen içinde meydana gelirler ve ilk demir para atışını yaptıktan sonra sonucu değiştirmek için yapacağımız hiçbir şey sonucu değiştiremez. Fakat foton olayında ilk eylem belirsizdir ve bundan dolayı da sonuçların her ikisi de hâlâ olasıdır ve eşit şekilde reeldir.

Nihai olarak bu deney, fotonun ne tam anlamıyla yansıdığını ne de geçtiğini, fakat sahiden de ikisini de aynı anda yaptığını düşünerek açıklanabiliyor. Gözlemlediğimiz sonuca yönelik tek açıklama da budur. Peki öyleyse ikinci demeti bölücüsü sonrasında kati bir sonuç vermek üzere, ilk demet bölücüde böyle bir indeterminizm yürüten mekanizma gerçekten

de nedir? Bu mekanizmaya girişim (interference) deniyor ve bu süreçte bir sonuç kuvvetlendirilerek, diğerleri işlemden çıkarılıyor.

"İyi de su dalgaları da girişim yapabilir. Bu da kuantum girişim midir?" dedi tiyatro grubundan birisi. Cevabımız hayır. Su dalgaları gibi klasik dalgalarda bir dalga diğer bir (tamamen farklı) dalgaya girişimde bulunur, oysa foton örneğinde kendi kendine girişimde bulunan tek bir foton söz konusudur.

Burada fotonlarla yapılan tek ve garip bir deneyden bahsetmediğimizi belirtelim: Bunu kanıtlayan binlerce başka ve farklı nesnelerle (elektronlar, atom çekirdekleri, atomlar, moleküller) yapılan deney var ve her biri de her nesnenin potansiyel olarak aynı zamanda farklı yerlerde var olabileceğini doğruluyor. Aslında bu deneyler dünyanın her yerindeki lisans düzeyi kuantum derslerinde standart olarak yapılan deneylerdir. Daha da ötesinde, elde ettiğimiz kanıtlar evrendeki herhangi bir nesnenin aynı zamanda farklı yerlerde olabileceğini iddia edecek kadar da kesindir.

Gelinen bu noktada tiyatro grubu soluklanmak istedi. "Dur bakalım Vlatko, hepsi iyi güzel de, nasıl oldu da bugüne kadar aynı insanı iki farklı yerde görmedik?" Elbette bunu sormakta haklılardı; her şeyin atomlardan ve moleküllerden oluştuğuna kesinlikle eminsek, tüm bu şeyleri aynı zamanda farklı yerlerde de görmemiz gerekmez mi?

Bu fenomeni gözlemlemiyor oluşumuzun sebebini kuantum teorisinin başka bir yönünde buluyoruz: Ölçüm (measurement). Ölçüm, ölçülen sistemin halini etkiler ve değiştirir. Bu ölçümler dolayımı iledir ki sistemi, ölçümü önceleyen pek çok olası halinden birini benimsemeye zorlarız. Örneğin oyunun kahramanı aynı zamanda pek çok ülkede var olabiliyorsa, herhangi biri ona, "Hangi ülkedeydin?" diye sorduğu anda kahraman tek bir belirli cevap vermek zorundadır. Ben-

zer şekilde ben de aynı zamanda farklı yerlerde olabiliyorsam, bu tiyatro oyuncularının burada beni dinliyor olmaları benim üzerimde icra ettikleri bir tür ölçümdür, yani o anda başka yerde olamayacağım anlamına gelen bir etkileşimdir.

Yani bizim kahramanımız anlık bir paralel hayatta, farklı bir ülkede farklı bir aileyle yerli yerinde bir olay örgüsüyle takılıyor fakat kuantum teorisinin bize anlatmaya çalıştığı şey bu değildir. Kuantum teorisi bize kahramanımızın herhangi biri ya da herhangi bir şeyle etkileşime girdiği anda özebir (unique, emsalsiz, biricik) bir pozisyonu kabul etmeye zorlanacağını söylüyor. Evrendeki tüm nesneler (objects) tüm olası hallerde olmaya yetkindirler, ölçüm tarafından bu hallerin bir alt kümesine indirgenmeye zorlanmadıkları sürece.

Peki öyleyse nasıl oluyor da demet bölücüyle ya da yarı dalga plakasıyla etkileşen bir foton bir ölçüm teşkil etmiyor? Bu noktada kuantum mekaniğindeki ölçüm probleminin en can alıcı noktasına geliyoruz. Belli türdeki etkileşimler kuantumsallık durumunu yıkıyor ve bize kesin bir cevap veriyor. Diğerleriyse fiziksel nesnelerin aynı zamanda farklı yerlerde olabilme becerisini koruyor. Kural şu: Herhangi bir nesnenin bazı niteliklerinin tam değerini (örneğin; uzaysal mekân, momentum, enerji) bilmek istiyorsak onda içkin olan kuantumsallık durumunu yıkmak zorunda kalıyoruz –diğer türlüyse kuantumsallığa dokunmuyoruz.

Kuantum nesnesini kuantumsallığını kaybetmeye zorlamamızdan daha olağan olan şeyse, nesnenin kuantumsallığını çevreyle doğal olarak girdiği etkileşim sonucu kaybedebilmesidir. Gerçekten de her nesne çevreyle bir savaş halindedir. Çevre kuantum nesnesi hakkında daima daha fazla şey bilmek ister ve bu tıpkı bir ölçüme benzer. Bu konu fizikçilerin üzerinde uzun uzun düşünüp zaman harcadıkları problemlerden biridir. Bugünkü koşullarda bir atomun çevresiyle

olan etkileşimini yalnızca birkaç saniyeliğine engelleyebiliyoruz (bu da en iyimser tahmin ve bir atomun yalnızca belirli niteliklerine uygulanabiliyor). Sadede gelirsek, böylesine sınırlı bir zaman çerçevesi içerisinde dahi, kuantum indeterminizmini kuantum hesaplama ve kuantum kriptografi[44] gibi bazı müthiş işler için kullanabiliyoruz.

Bu kuantum indeterminizmi, yani aynı zamanda farklı konumlarda olabilme durumu, yalnızca mikroskobik etki alanıyla sınırlı değildir. Etrafımızda gördüğümüz tüm o şaşırtıcı makroskobik olaylardan da sorumludur. Elektrik akımının bir süper iletkenin içinde hiçbir dirençle karşılaşmadan akışını, nötron yıldızlarının yerçekiminin üstesinden gelmeyi nasıl başardığını, büyük örümceklerin düşey düzlemli duvarlara tırmanabilmesini ve yer döşemenizdeki atomlar arasında bu kadar boş alan varken nasıl zemine doğru düşmediğinizi anlamak için de kullanılabilir. Tüm bu kafa karıştıran sorular ancak kuantum mekaniğine dair bir kavrayış geliştirerek cevaplanır.

Tiyatro grubuyla tartışmamı sürdürürken şöyle söyledim: "Bu indeterminizm konusunun kavranması o kadar da zor değil, ancak çok önemli. Okulda çocuklara bunu neden öğretmediklerini anlamıyorum". Gerçekten de burada, İngiltere'de, lisede fizik bile çalışıyor olsanız kuantum mekaniği anlamlı bir şekilde öğretilmiyor. Benim düşünceme göre bu utanç verici bir şey. Bu düşünce biçimiyle ne kadar erken tanışırsanız, ileriki hayatınızda gerçekliğin gerçekten de bu olduğunu daha kolay kabullenebilirsiniz. Yetişkinler fazla septikler ve kalıplaşmış yargılara sahipler. Bunun yanı sıra sınırlı imgelemimizin de zaman zaman aleyhimize çalıştığını görüyoruz. Tartışmalarımızdan bu yana Jon'ın benimle aynı fikirde olduğuna

44 Şifreleme bilimi.

inanıyorum, çünkü kuantum teorisini liseli çocuklara öğretecek bir oyun tasarlamak için harekete geçti. Bu çocukların gelecekte araştırma dergilerinde yayımlanacak makalelerinde bizim gibi yaşlı adamlara bazı önemli noktaları kaçırdığımızı, kuantum teorisinin düşünebileceğimizden çok daha kuvvetli olduğunu anlatmalarını dört gözle bekliyorum.

Tartışmanın bu noktasında tüm konuşmayı kendi başıma yaptığımı ve karşımdakilerin yalnızca dinlediklerini hissederek tiyatro oyununun konusunu sordum. Hikâyedeki ana karakterlerden biri Amerika'daki bir casusla ilgili bir öykü anlatıyordu. "Casus" sözcüğünü duyar duymaz onlara kuantum teorisinin en çarpıcı uygulama alanlarından biri olan kriptografi konusunu açmaya karar verdim ve söze daldım. Belki de oyunlarına bu konuyu da serpiştirebilirlerdi.

İletişimi daha güvenli hale getirmek ya da iletişimi kesmek üzerine (örneğin şifreleme ya da şifre kırma) çalışan kriptografi bilimi, kuantum teorisi prensiplerinin kullanılmasıyla birlikte önemli ölçüde gelişti. Kriptografi kuantum teorisinin şimdiye kadarki en yalın ve en etkili uygulama alanlarından biridir.

Gizli iletişim kurma ihtiyacı medeniyetin doğduğu günlerde başladı. Eski Yunan savaşçıları Spartalılar *scytale*[45] kullanarak İsa'nın doğumundan tam 400 yıl önce mükellef bir kriptografi yöntemi geliştirdiler.

Savaşın sonucu son kertede Spartalı komutanlar arasında paylaşılan bazı kritik bilgilere dayanıyordu ve düşmanın bu bilgiyi ele geçirip kendi yararına kullanmaması çok önemliydi. Scytale (sözcük asa anlamına gelir) etrafına üzerinde mesajın yazılı olduğu uzun bir kumaş parçası dolanan uzun bir çubuktu ve kumaş çözüldüğünde yazılı olan mesaj tamamen

45 Eski Yunanlıların savaşlarda kullandığı iletişim aracı.

bozulurdu. Esas mesajı çözmek için bu çubuğa (ya da benzer daire çevre uzunluğundaki bir şeye) ihtiyaçları vardı, aksi takdirde harflerin nasıl sıralandığından ve orijinal mesajın ne olduğundan emin olamıyorlardı.

Spartalıların kriptolama (şifreleme, kodlama) yöntemi genellikle permütasyon olarak bilinir. Permütasyon bir cümledeki harflerin anlaşılmamalarını sağlamak için bir düzen içerisinde dağıtılmaları anlamına gelen matematiksel bir biçimin adıdır. Harfler yapısal olduğu sürece ve mesajı alan tarafın harfleri nasıl çözeceğini bilmesi koşuluyla her tür dağıtım başarılı olmaktadır.

Eski zamanlardan kalan gizli bir iletişim yöntemi de değiştirimdir (substitution) ve ilk olarak İsa'dan 50 yıl önce Sezar tarafından kullanılmıştır. Sezar ordu komutanlarıyla nasıl gizlice iletişim kuruyordu? Fikir çok basittir. Önce alfabeyi yazıyordu: ABCDEFGHIJK... Sonra da onun yerine kaydırılmış diziyi kullanıyordu: DEFGHIJKLMN.... Yani cümlesinde görünen A harfini D ile, her B harfini E ile değiştiriyor ve bu şekilde devam ediyordu. Böylece alfabenin son üç harfi ABC ile gösteriliyordu. "ATTACK TOMORROW"[46] emri "DWWDFNWRPRUURZ" harfleriyle kodlanabiliyordu. Ve bu şekilde kodlanmış bir mesaj da çoğu kişiye bir şey ifade etmiyordu.

Yani yukarıdaki durumlarda alfabenin tam olarak nasıl yön değiştirdiğini ya da mesajı şifrelemek için kullanılan çubuğun daire çevre uzunluğunu bilmediğimiz sürece iletişimin kodunu çözmek mümkün olmuyordu. Eski zamanların parşömenleri ve kumaş parçalarından bu yana değiştirim ve permütasyon hesapları öylesine evrildi ki artık son derece karmaşık şifreleme modelleri var ve sırlarına erişilemiyor (elbette, birbirine benzer 1000 tane antika bilgisayarınız varsa

46 İng: SALDIRI YARIN.

ya da bu işe 150 yılınızı ayırabiliyorsanız durum değişir). Değiştirim ve permütasyon gizli kodlama için hâlâ en popüler iki numara olsa da, onların şifreleri de tabiatları gereği kırılabiliyor. Şaşırtıcı değil mi? Günümüz modellerinin şifrelerini kırmak için 1000 tane birbirine bağlı bilgisayar olması ya da 150 yıllık bir sürecin gerektiğini düşünmek iç rahatlatıcı bir şey ancak hesap gücünün böylesine geliştiği bir çağda bu yaklaşımlar daha ne kadar güven sağlayabilir?

İşin aslı şudur. Bildiğimiz on binlerce kriptografik protokolün içerisinde sarsılmayan tek protokol, Shannon tarafından da ispatlandığı üzere "tek kullanımlı şifre"dir. Tek kullanımlı şifre, kapsamlı hesap gücümüzün sonsuzca genişlemesi marifetiyle geliştirilmiş ve bozulamayan kriptografik bir algoritmadır. Çok daha güçlü bir temeli vardır ve eğer doğru şekilde uygulanırsa günümüzdeki ya da gelecekteki hiçbir hesap gücüne de gerek kalmayacaktır. Algoritma teoride son derece basittir ve mükemmel bir güvenlik sağlamak için uyulması gereken yalnızca dört kural vardır:

1- Güvenli iletişim kurmayı arzulayan iki taraf gizli bir şifre paylaşır. Bu şifre, mesajı "kodlanmış" bir forma dönüştürmek ve sonrasında da orijinal formuna yeniden dönüştürmek için kullanılır. Yalnızca iletişimde bulunan iki taraf tarafından bilinir (başka hiç kimse bilemez). Gizli şifre bir kez oluşturulduğunda, iki taraf da gelecekteki herhangi bir zamanda bu şifreyi kullanarak iletişim kurmayı seçebilir.
2- Mesajı kodlamak için kullanılan şifre tamamen rastlantısal olmalıdır. Eğer bir sonraki basamağın sıfır mı bir mi olduğunu tahmin etmek için bir yol bulunmuşsa, o kod artık kullanılamaz çünkü protokol artık yapısal bir saldırıya açıktır.

3- Şifre mesajın kendisi uzunluğunda olmalıdır, yani şifreyi oluşturan bitlerin sayısı mesajı oluşturan bitlerin sayısına eşit olmalıdır. Eğer daha kısaysa protokol saldırıya hassas hale gelecektir.
4- Şifre yalnızca bir kez kullanılmalıdır (çünkü tekrarlar da kodu saldırıya açık hale getirir).

Her şey iyi güzel görünüyor. Tüm bu kuralları uygularsak mükemmel güvenli bir iletişim kuracağız ve tüm dünyadaki pek çok kriptograf işsiz kalacak. Fakat davulun sesi uzaktan hoş geliyor. Aslında kriptografi sanatı gelişimini gayet güzel sürdürerek yoluna devam ediyor. Çünkü tek kullanımlı şifrenin kullanımı lanet bir şekilde zor. Zorunluluklara şöyle bir göz atalım. 3. ve 4. maddeler oldukça basit görünüyor ancak 2. maddede kaşlar havaya kalkıyor. Yani tamamen rastlantısal bir şifre ne demek? Ayrıca 1. madde de düpedüz komik görünüyor. Gizli bir mesajı iletmek isteyen iki tarafın gizli bir şifreye ihtiyaç duymaları durumundaki ilginçlik nedir? Gizli şifreyi güvenli bir şekilde paylaşmak için kullanılan metot elbette gizli mesajı paylaşmak için de kullanılabilir. Bu biraz da kısır döngüye dönüşen bir şey - gizlice iletişim kurmak için gizli şifreye ihtiyacınız var ve fakat gizli şifreyi oluşturmak için de gizlice iletişim kurmanız gerekiyor! Öyleyse mükemmel şekilde güvenli iletişim kurma problemi (2. maddeyi yerine getirdiğimizi varsayarak) daha en başta gizli şifreyi paylaşabilme problemine indirgenmiş oluyor. Bu problem şifre dağıtım problemi olarak bilinir ve kriptografinin önündeki en temel zorluklardan biridir ki bilgisayar ve mühendislik bilimleri de nihai bir çözüm üretememektedir.

İşte bu noktada kuantum teorisi devreye giriyor ve yalnızca 1. zorunlulukta değil (sonucu itibariyle şifre dağıtımı meselesi), 2. zorunlulukta da (şifrenin tamamen rastlantısal oluş-

turulması) yardımımıza koşuyor. 2. konuyu Bölüm 10'da dallandırıp budaklandıracağız. Şimdi 1. meseleye bakalım.

Kuantum teorisi, şifre dağıtımı problemine alışılmışın dışında bir çözüm getiriyor. Her türlü ölçümün bir durum belirliyor olmasının, esas durumu geri dönülemez şekilde değiştirdiği gerçeğini kullanarak, duruma ne zaman girişimde bulunulduğunu anlayabiliyoruz. Bundan daha önce bir şifrenin her bir bitinin aynı anda farklı yerlerde olma kapasitelerini konuşurken bahsetmiştik. O halde, bir kulak misafiri şifreden gizli gizli bilgi kaçırmaya çalışırsa, bu girişim sanki bir ölçüm gibi hareket eder ve böylece biti şu ya da bu hali benimsemek üzere zorlar. O zaman gönderici ve alıcı gizli bir dinleme olayı olup olmadığını belirleyebilmek için şifrenin bir alt kümesini analiz edebilir. Eğer dinleme olayı olmamışsa şifreyi kullanmaya devam ederler; aksi takdirde her şeyi kullanım dışı bırakıp süreci yeniden başlatırlar. Saptanan bu telekulak olayı elbette yalnızca bir insan ajandan kaynaklanmayabilir, hattaki bir tür cızırtı da buna sebep olmuş olabilir. Ama yine de emin ve güvende olmak için hep kötünün olduğunu varsaymak zorundayız.

Bu yaklaşım 1980'lerin başlarında Amerikalı Charles Bennet ve Kanadalı Giles Brassard tarafından keşfedildi ve sonrasında başka birçokları tarafından da başarıyla uygulandı. Oxford fizikçisi Artur Ekert tarafından tamamen bağımsız olarak önerilen alternatif yöntem de başarılıydı. Günümüzde mevcut bit değeri çok yüksek değildir ancak tek bir mesajı süper güvenli bir şekilde göndermek istiyorsanız kuantum kriptografi sistemi son derece işe yarıyor. Kuantum kriptografi sistemi Ekim 2007'de İsviçre ulusal seçimleri sırasında Cenevre'de Nicolas Gisin tarafından test edildi. Cenevre kantonu (hükümeti) oyları saymak ve bu bilgiyi oyların sayıldığı ofisten seçim merkezine güvenli bir şekilde iletmek için özel

bir hat kullandı. Mesaj kısaydı ve sadece birkaç bit gerektiriyordu. Ancak son derece önemli olduğu için İsviçre hükümeti herhangi bir müdahale riski almak istemiyordu. Bu durum klasik olarak çözüm getiremediğimiz bir probleme kolaylık getirmek adına kuantum teorisinin uygulanışına güzel bir örnek teşkil ediyor.

Her şey iyi güzel de, geldiğimiz nokta neresidir? Esas kilit soru şu: Kuantum teorisiyle birlikte bilgi kavramının etkileniyor mu, etkileniyorsa da nasıl etkileniyor? Şimdi kuantum teorisi bize, kitabın önceki bölümlerinde olduğu gibi belli bir sonuç elde etmek yerine, birkaç olası sonuca ulaşabilmekten bahsediyor. Geçen bölümde sosyal düzenden bahsederken bilginin farklı sosyal birimler arasında bağlayıcı bir güç olduğunu gördük. Aynı şekilde burada da bilgi, kuantum sisteminin farklı açıları arasında bağlayıcı bir güçtür.

Karşılıklı bilginin asla %100'ü geçemeyeceğini (yani mükemmelden daha iyi olamaz) varsayarak oldukça güvende olduğumuz düşünülebilir. Eğer iyi okullara giden çocukların hepsi hayatı fevkalade yaşıyorlarsa, iyi okullar ile başarılı bir hayat arasında (başarılı bir hayat tanımınız ne olursa olsun) %100 karşılıklı bilgi vardır diyebiliriz. Kesinlikle %100'den daha fazla bilgi paylaşamazsınız. Ancak kulağa ne kadar tuhaf gelirse gelsin kuantum sistemleri gerçekten de %100'den daha fazla bilgi paylaşabilirler. Gerçekliği tam anlamıyla tanımlamak isteyen her bilgi teorisi bu meseleyi de ele almak durumundadır, aksi halde gerçekliğin kavrayışımızla erişemediğimiz bazı bölümleri olacaktır.

Bilginin nasıl %100'ü aşabildiğini açıklayabilmek için tıpkı bir elektronun "dönüsü" gibi iki-halli bir kuantum sistemi imgeleyelim. Dönen topaçlar metaforunu kullanarak her bir elektronun da tıpkı bu topaçlar gibi kendi yolunda dışsal şartlara bağlı olarak "döndüğünü" düşünebiliriz. Tıpkı dönen to-

paç gibi bir elektron da herhangi bir verili yönde –yatay, dikey, 45 derecelik açıyla ya da başka şekilde– saat yönünde ya da saatin tersi yönde dönebilir. Elektronun dönüsünü iki ayrı zamanda ölçtüğümüzde, bu ölçümler arasındaki karşılıklı bilgi daha önce mümkün olduğunu düşündüğümüz değeri aşabiliyor. Bu noktada elbette şaşkınlığa düşüyoruz. Klasik fizikte farklı zamanlardaki dönüler yatay ya da dikey dönüyle bağıntılı olabilir, bunun içindir ki ilk dönünün ölçümü "yatay saat yönündeyse" ikinci ölçüm de böyle olur ve bu durumda aralarındaki karşılıklı bilgi %100'dür. Öte yandan gerçek elektronlar kuantum mekaniğiyle hareket ederler ve dönü ölçümleri aynı zamanda dikey yönle ve yatay yönle (ve diğer tüm dönüş yönleriyle de) bağıntılı olabilir. Çünkü elektronlar eşzamanlı bir şekilde hem saat yönünde hem de saatin tersi yönde dönebilirler ve bu hiçbir dönen topacın yapamayacağı bir şeydir. Bu durumda elektronların %200 bilgi paylaştıklarını söyleyebiliriz. Bu süper-bağıntı (süper korelasyon) durumu kuantum dolanıklık (entanglement) olarak ya da Einstein'ın söylediği gibi "uzaktaki ürkünç devinim"[47] olarak bilinir.

Nesneler arasındaki karşılıklı bilgiye özellikle sonuca yönelik şekilde bakmanın bir yolu da bulunuyor ve herkesçe kabul edilen "Bütün, en azından her bir parçası kadar geniştir" ifadesini de gayet iyi açıklıyor. Steve ve Bryan adında iki arkadaşınız olduğunu varsayalım. Bu arkadaşlarınızın her birinin bir sonraki adımlarında ne yapacaklarına dair tercihleri bulunmaktadır. Steve şu an çalıştığı işte kalabilir ya da işini bırakabilir. Bryan'ın da aynı şekilde tercihleri söz konusudur. Eğer gelecekleriyle ilgili tamamen kararsızlık içindelerse ikisine de bir bilgi biti atfedebiliriz, çünkü ikisi de iki olasılıklı bir tercihe sahipler. Şimdi, Steve ve Bryan'ın müşterek ge-

47 İng: Spooky action at a distance.

leceklerinde yatan bilginin, en az bireysel bilgi parçalarının her biri kadar büyük olduğu açıktır. Bu durumu Steve'in işten ayrıldığını düşünerek çok daha kolay anlayabiliriz. Artık onun geleceğinde belirsizlik yoktur. Bununla birlikte Bryan'ın ne yapacağını hâlâ bilemiyoruz. Belirsizlik şu an tek bir bit kadar büyüktür ve tamamen Bryan'ın seçiminde yatmaktadır. Bu tıpkı daha önce verdiğimiz sen içecek bir şeyler alırsan, ben de alırım örneğine benziyor. İki senaryo arasındaki nedensel bağ farklı olsa da, bizi aynı karşılıklı bilgiye götürmesi ilginçtir. Üstelik karşılıklı bilgi hiçbir biçimde nedenselliğe bağlı değildir ve hiçbir nedensellik bağlantısı bulunmayan iki tarafın %100 korelasyon içinde olması da gayet aklımıza yatmaktadır.

Şimdi tüm bunları entropi bakımından ifade edelim. Entropinin bir sistem içerisindeki belirsizliğin derecesini (evresini) yansıtan ölçüm olduğunu daha önce söylemiştik. Tüm sistemin entropisi (klasik olarak konuşacak olursak) en azından, her bir bölümünün entropisi kadar büyücek olmalıdır. Bu bağlamda entropiyi bir bölge ifadesiyle ele almak faydalı olacak. Amerika Birleşik Devletleri'nin toplam yüzölçümü en azından her bir eyaleti kadar büyüktür. Bazı eyaletler çakışsa ve yüzölçümlerinde aynı bölgeler bulunsa da durum hep böyle olmak zorundadır. O halde Amerika'da birini arıyorsanız, nerelerde olduğuna dair belirsizliğiniz en azından, Kaliforniya'da bir yerlerde olduğunu bildiğiniz birini arama durumunuzdaki belirsizliğiniz kadar büyük olmalıdır. Amerika'nın Kaliforniya dışındaki bölgelerinde çok daha fazla saklanacak yer olduğu düşünüldüğünde Kaliforniya pozisyonuna dair belirsizlik, aranan kişinin tüm Amerika'da olması pozisyonuna dair belirsizlikten daha büyük olamaz.

Afallatacak belki ama kuantum mekaniği dünyasında yukarıdaki cümle artık geçerli olmuyor. Aradığınız kişiyi bulma

görevinin (Kaliforniya'da bir yerlerde bulunduğunu bildiğinizi hatırlatalım) kuantum versiyonu, tüm Amerika'yı aramak yerine özellikle Kaliforniya'da yoğunlaşmanızın, aradığınız kişiyi bulmayı daha zorlaştırabileceğini söylüyor. Yani kuantum versiyonunda bir şekilde Kaliforniya bölgesi tüm Amerika topraklarından daha geniş olabiliyor!

Pekâlâ kuantum sistemlerinin böyle davrandıklarına dair elimizdeki kanıt ne? Tamam, kendi kendinize ne alakasız bir şeyden bahsediyoruz diyorsunuz. Sezgilere ve akla aykırı görünüyor. Halbuki öyle değil ve dahası bunu test etmek için bir deney bile (diyelim dönen iki elektronla) yapabiliriz. Onlar öyle bir yaratılmışlar ki bütünlüklü âlemlerinde hiçbir şekilde hiçbir belirsizlik söz konusu değilken, her birine teker teker baktığımızda tamamen bir karmaşa halinde görünüyorlar. Diğer bir deyişle hallerini tam anlamıyla ifade edebilmek için birbirlerine ihtiyaçları var. Bu klasik tarzda gerçekleşmiyor; sistemlerden biri karmaşa halindeyse başka bir sistem eklemek karmaşanın toplamsal değerini azaltamıyor. Nihayetinde bu durum bizi şu olguya götürüyor; kuantum fiziğinde iki elektron süper-bağıntılıdır. Yani denebilir ki, aralarında bir tür "norm ötesi" toplamsal karşılıklı bilgi bulunan "tek yumurta ikizleri" gibidirler.

Peki gerçekliğin işleyişi sahiden de bu şekildeyse onu hâlâ bilgi ifadeleriyle tanımlayabilir miyiz? Cevap olumlu ancak Shannon entropisi burada yeterli olmuyor. Shannon bilgi teorisi bize, bütünde en azından bütünün parçalarının herhangi birindeki bilgi kadar bilgi bulunduğunu söyler. Fakat daha önce de söylediğimiz gibi kuantum sistemleri için bu doğru değildir. Burada bilgi, Shannon tarafından önerilenden daha genel bir ele alış biçimi gerektiriyor.

Yapılması gereken ana değişiklik (klasik) bit nosyonunu kuantum bite ya da "qubit"e yükseltmektir. Qubit bir kuan-

tum sistemidir ve bitin tersine herhangi iki halin (sıfır ve bir) kombinasyonunda var olabilir. Bu noktadan sonra Shannon'ın önerdiği şeyler aynen geçerlidir. Burada bilgiyi nicelemek için bir bitin entropisi yerine bir qubitin entropisine bakıyoruz. Bu işlem ilk olarak John Wheeler'in öğrencisi Ben Schumacher tarafından gerçekleştirildi. Schumacher aynı zamanda qubit terimini de üreten kişidir. Bitten qubite gitmek abesle iştigal gibi görünüyor olsa da aslında köklü çıkarımları vardır. Tüm varlık, bölümlerinin bazılarından daha küçüktür örneğine geri dönersek, korale olmuş iki kuantum sisteminin kuantum entropisi şimdi gerçekten de her birinin tek tek entropisinden daha küçük olabilir.

Kuantum bilgi teorisi Shannon bilgisinin üst kümesidir ve Shannon bilgisini belli noktalarda indirger. Shannon sayesinde öğrendiğimizin ötesinde kuantum bilgisinin bize sunduğu ana nokta, bilgi işleme süreciyle erişebileceğimiz muazzam miktarda kullanılmamış potansiyel olduğudur. Süper hızlı bilgisayarlar dizayn etmek, yüksek güvenlikli kriptografik sistemler kurmak ya da ister inanın ister inanmayın ama nesneleri uzun mesafelere ışınlamak için kuantum bilgi teorisinden halihazırda faydalanılıyor.

Okuyucu, kuantum bilgisine yükseliyor oluşumuzun kitabın birinci ana bölümünde vardığımız sonuçları bir anda geçersiz kılacağından kaygılanabilir. Aslında durum bunun tam da tersidir. DNA'ya kuantum bilgisi perspektifinden yaklaşabilirdik ancak DNA makroskobik bir fenomendir ve klasik bilgi teorisini kullanarak vardığımız sonuçlar DNA'nın en önemli fonksiyonunu zaten dört dörtlük bir şekilde kapsamaktadır. Aynı şey kitabın birinci bölümünde bahsedilen tüm bilgi işleme sistemleri için de söylenebilir. Tüm bu sistemler kuantum bilgi teorisi perspektifinden yeniden türetilebilir ancak bunlar makroskobik sistemler oldukları için klasik teori yoluyla

sağlanan yaklaşımlar yeterlidir. Bu demek değildir ki kuantum fiziği makroskobik nesnelere uygulanamaz, tam tersine kuantum fiziği evrendeki tüm maddeye uygulanabilirdir. Ancak şu konuştuğumuz seviyede kuantum fiziği kestirimleri geleneksel fizikten pek de ayrı düşmüyor. Bu yüzden doğal olarak biz de pek de ihtiyacımız olduğunu hissetmediğimiz sürece kuantum fiziğini kullanımının ekstra çetrefiliyle uğraşıp sıkıntıya girmiyoruz.

Bilgi açısından baktığımızda kuantum teorisinin en önemli iki niteliğini şöyle özetleyebiliriz: 1. Qubitler aynı anda çeşitli farklı hallerde olabilirler ve 2. Bir qubiti ölçümden geçirdiğimizde onu klasik bir sonuca indirgeriz yani tanımlayıcı (kesin) bir sonuç elde ederiz.

Yukarıdaki niteliklerin ikisi de uygulanışa bağlı olarak pozitif ya da negatif nitelikler olabilir. Qubitlerin aynı zamanda farklı hallerde olabilmeleri mefhumunu göz önünde bulundurduğumuzda, bir qubitin klasik bitten çok daha girift bir yapı olması pozitif bir niteliktir. Böylece bu niteliğiyle kuantum bilgi işleme sürecine bizim klasik bilgi teorimizde mümkün olandan çok daha fazla güç ve esneklik kazandırır. Tam tersine kriptografi gibi bazı hususlardaysa, alıcının tüm ayrıntılara sahip olmadığı durumlarda mesajı deşifre ederken ona zarar vermesi gibi olumsuz sonuçlar da doğurabilir. Aynı şekilde ölçüm yaparken de böyledir. Ancak kuantum kriptografiyi özünde açımlayabilmemiz olumlu bir niteliktir çünkü bu yolla kulak misafirlerini tespit edebiliriz. Ancak bir biti bir qubite indirgemesi ve sonuç olarak da bilgi işleme sürecimizi sarsması da olumsuz bir niteliği olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kitabın bir sonraki bölümünde kuantum hesaplamayı konuşurken kuantum bilgisinin avantaj ve dezavantajlarını da en iyi şekilde inceleyeceğiz.

Anahtar Noktalar

- Yüzyıl önce meydana çıkan kuantum fiziği küçük nesnelerin nasıl davrandıklarını tanımlıyor.
- Kuantum fiziğinin insanı hayrete düşüren iki niteliği onu bugüne kadar gördüğümüz her şeyden ayrı kılıyor. Bunlardan biri nesnelerin aynı zamanda iki ya da daha çok farklı durumda var olma olasılığıdır. Örneğin bir atom aynı anda hem burada hem de orada olabilir. Diğer özellikse, kuantum sistemlerinin davranışının girift rastlantısallığıdır. Bir kuantum sistemi hakkında bilinebilecek her şeyi biliyor olsak da sistemin nasıl davranacağını çoğu durumda söyleyemeyiz.
- Kuantum fiziğinin tamamen bilgiyle ilgili olduğunu kavramak, yeni iletişim düzenleri kurabilme uğrunda çabalarken gerçek dünya uygulamalarını geliştirmemize yardım eder.
- Kuantum kriptografi, kuantum fiziğinin yeni tip bir bilgi işleme süreci ortaya koyduğu alanlardan biridir. Bu yolla mümkün olabileceğini düşündüğümüzden çok daha güvenli iletişim kurabiliriz.
- Kuantum kriptografi yalnızca teorik bir yapı değildir; çok uzak mesafelerde de başarıyla uygulanabilir.

9

Dalgalarda Sörf: Hiper-Hızlı Bilgisayarlar

Bilgisayar sözcüğünü duymamış olan var mıdır? Transistorlarla donatılmış bu kutuların yönettiği günümüz toplumunda, sadece Amazon'lardaki birtakım izole kabileler ya da Kalahari Çölü civarındaki klanlar bu hâkimiyetin dışında kalmış olabilir. Para işlerinden uçağa binmeye, yemeğimizi ısıtmaktan kalp atışı kontrolüne (bazı kimseler için) kadar bu aygıtlar toplumun her alanını kontrol etmekteler. İster kişisel bilgisayarlardan olsun, ister anabilgisayarlar ya da cep telefonlarımızın ve mikrodalga fırınlarımızın içine katışık bilgisayarlar olsun, onlarsız bir hayat düşünmek neredeyse imkânsızdır.

Ancak bilgisayar terimi sizin o averaj Apple Macintosh'unuzdan ya da PC'nizden çok daha derin anlamlar taşıyor. En temel düzeyde konuşacak olursak, komutlar alabilen ve bu komutlar temelinde hesaplamalar yapan tüm nesnelere bilgisayar diyoruz. Bu anlamda bilgisayar dediğimiz şey yalnızca bir makineyle ya da mekanik bir aparatla sınırlanamaz; atomik bir fiziksel fenomen ya da yaşayan organizmalar da mükemmel bilgisayar formlarıdırlar (çoğu durumda da günümüzün bilgisayar modelleriyle becerdiğimiz şeyler konusunda daha kuvvetli sonuç verirler). Bu alternatif hesaplama modellerini bu bölümün ilerleyen sayfalarında konuşacağız.

Bilgisayarlar öyle farklı biçim ve boyutlarda karşımıza çıkıyorlar ki bazılarına artık bilgisayar bile diyemiyoruz (örneğin buzdolabınıza bilgisayar mı diyorsunuz?). Bazı bilgisayarlar bir saniyede milyonlarca hesap yapabilirken bazılarının en basit hesapları yapması uzun zaman alabilir. Ancak bir bilgisayarın yapabildiği bir şeyi başka bir bilgisayarın da yapabilmesi teorik olarak mümkündür. Doğru komutlar ve yeterli bellek verildiğinde örneğin buzdolabınızdaki bilgisayar, Microsoft Windows simülasyonu yapabilir. Daha uygun bir bilgisayarla işinizi görmek yerine buzdolabınıza oturtulmuş bilgisayarla bir şeyler yaparak zaman kaybetmenin aptalca olmasını burada incelemeyi düşünmüyorum. Esas konu buzdolabındaki bilgisayarın da diğer tüm bilgisayarlar gibi aynı hesap modeliyle çalışması ve buna bağlı olarak allem edip kalem edip nihayetinde aynı sonuca ulaşabilmesidir.

Sözü edilen kavram, elektronik bilgisayarlar gibi mekanik hesap aygıtlarının doğası üzerine ortaya konmuş bir hipotez üzerinde temellenir. Bu hipoteze Church-Turing tezi (kökeni 1936'ya kadar gider) diyoruz. Alan Turing ve Alonzo Church bize bir tür algoritma biçimlendirmesi ve hesaplama yapmaya yarayan "tamamen mekanik" bir model sundular. Bugün tüm modern bilgisayarlar bu modele uyuyorlar. Bu tez, uygulanması mümkün olan her tür hesaplamanın, söz konusu hesap modeli üzerinden yürütülen bir algoritmayla halledilebileceğini öne sürüyor (yeterli zaman ve hafıza alanı olduğu varsayımıyla). Bu iddia bizi tüm modern bilgisayarların dayanağı olan evrensel bir bilgisayar kavramına götürüyor.

Hesaplama teknolojisini minyatürleştirmek için yapılan hamle, üstünkörü geçiştirilecek bir konu değildir. Von Neumann ilk bilgisayarı 1940'larda geliştirdiğinden bu yana bilgisayarlar giderek küçülüyorlar (ve sonuçta daha yakın devreler daha az mesafe gerektirdiği için hızlanıyorlar da). 1950'le-

rin sonlarına doğru Intel'in yönetim kurulu başkanı ve aynı zamanda kurucu ortaklarından biri olan Gordon Moore son derece ilginç ve dikkate değer bir trendin farkına vardı: Yaklaşık her iki senede bir, bilgisayarlar hızlarını ve belleklerini iki katına çıkarma eğilimindeydiler. Moore bu durumu raporlarından birinde belirttiği günden beri bu trend Moore yasası olarak biliniyor.

Peki Moore yasası neden 50 senedir kabul görüyor? Bunun sebebi doğal bir yasa olmaması, yani insan varlığına bağlı ve bizim kontrolümüzde olan faktörlerle yakından ilgili olmasıdır. O halde belki de artık bu saptamayı "Moore trendi" ya da "Moore gözlemi" olarak adlandırmalıyız. Bilgisayar endüstrisindeki bazı alaycı tipler, Moore'un kendisinden dolayı (Intel üst yöneticisi olduğunu hatırlayalım) Moore yasası demenin daha doğru olduğunu söylüyor olabilirler. Moore bu yasayı ortaya koyarak diğer şirketlerin standartlarını da tayin etmiş oldu. Intel'in mikroçip endüstrisinde böylesine baskın bir konumda olduğu düşünülürse, Moore yasası biraz da kendi kendini gerçekleştiren kehanet olarak görülebilir.

Eğer teknoloji Moore yasasına uymayı sürdürürse, sürekli küçülerek silikon çiplere sıkıştırılan devreler en nihayetinde tek tek öğelerin birkaç atomdan başka bir şey olmadığı bir noktaya ulaşacaktır. Peki sonra ne olacak? Oradan nereye varacağız? Bilgisayarlar ne denli küçük ve hızlı olabilir?

Bu üssel gelişmenin doğal bir sınırı olduğunu elbette biliyoruz. Şu an bir bilgi bitini kodlamak için 100 civarında elektron kullanmaktayız. Ama belki 10 sene içerisinde bir bilgi bitini kodlamak için bir elektron kullanıyor olacağız. Peki bunun ötesine geçebilir miyiz ve nihai sınır nedir? Fiziğin bize söylediği bir şey varsa o da vardığımız sonuçlar hakkında asla dogmatik olmamamız gerektiğidir. Tarih "mümkünü yok" denen şeylerin daha sonra "sırada ne var" durumuna geldi-

ğini ispatlayan örneklerle doludur (Lord Kelvin'in havadan daha ağır makinelerin uçamayacağını söylediğini ve sadece 30 sene sonra Wright kardeşlerin bunun yanlış olduğunu gösterdiğini anımsayın). Bu yüzden de hesaplamaya dair nihai bir sınır bulmuş bile olsak, bu sınırın geçerlilik süresine içkin bir belirsizlik zaten hep olacaktır.

Nihai limitleri anlayabilmek için öncelikle bu bilgisayarların esasen ne olduklarını anlamamız lazımdır. Pekâlâ, o zaman işimiz kolay: Bilgisayarların işi gücü bitleri (ikili sayıları) işlemden geçirmektir (proses etmektir). Günümüzde kullandığımız bilgisayarlar bitleri (sıfır ve birleri) öteleyip yönlendirmek (shift) ve değiştirip yeniden düzenlemek için Boole mantığını kullanırlar. George Boole 1854 yılında Boole cebirini bütüncül bir sistem içinde sundu. Bu sistem, hesap işlemleri süreçlerinin matematiksel olarak modellenebilmesini sağlıyordu. Shannon'ın bu sistemi iletişim sürecini yapılandırmak için kullandığını hatırlayalım. Boole mantığı günümüzde transistorlarla uygulanıyor ancak başka mantıklı alternatifler de var. Bildiğimiz gibi klasik bitler doğaları gereği herhangi bir verili zamanda iki farklı halden birinde, yani ya bir ya da sıfır olarak var olabiliyorlar. Bununla birlikte kuantum mekaniğinde, tek bir fiziksel sistemde aynı anda hem sıfıra hem de bire sahip olabiliyoruz. İşin aslı sıfır ve bir –yani qubit– aralığındaki sonsuz hale sahip olma olanağımız oluyor. Bir qubitin bulunabileceği hal sayısı sonsuzdur, çünkü 0 ve 1 hallerinin istenilen doğrulukla oluşacağı olasılıklar oranının ince ayarını prensipte yapabiliyoruz. Kesinlik olduğundaysa ya 0'ımız ya da 1'imiz var. Bu ise her şeyi klasik duruma indirgemiş oluyor.

Ayrıca Moore trendiyle aynı doğrultuda olmak üzere, atomik ölçekteki transistor devrelerinin (ki yarı iletken teknolojisine dayanırlar) davranımlarını ve niteliklerini idare eden fiziksel yasalar, tabiatları gereği klasik değil kuantum mekanik-

seldirler. Buradan hareketle, kuantum fiziği ilkeleri temelli bir tür yeni bilgisayarın icat edilip edilmemesi konusu ve sorunsalı artık zoraki bir gayret değil, atılması gereken doğal bir adım olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tüm bilgisayarların "nöronları" olan transistorların, yarı iletkenlerin niteliklerini kullanarak çalıştıklarını görmek de ayrıca ilginçtir. Yarı iletkenlerin nasıl iş gördüğünün açıklaması tamamen kuantum mekanikseldir ve klasik olarak anlaşılamaz. Klasik fiziğin klasik bilgisayarları açıklayamayacağını söyleyerek konuyu kapatacağımız bir noktada mıyız? Yoksa klasik bilgisayarların aslında kuantum bilgisayarları olduğunu mu söyleyeceğiz?

Gerçek şu ki klasik bilgi işleme süreci, gerçekliğe makroskobik ölçekte bir yaklaşımdır ve sunduğu yüksek ayrıntısallık düzeyi bazen günlük amaçlar için yeterli olmaktadır. Aslında bu bahsettiğimiz durum pek de ihtimal dışı değildir; hesaplamaya bireysel atomlar bağlamında yaklaşmaya zorlandığımız kuantum sınırında olmasaydık, kuantum bilgisayarlarını ve temel kuantum bilgi teorisini araştıracak o aynı düzeydeki motivasyona da sahip olmayabilirdik.

Kuantum hesaplamaları son derece heyecan verici ve hızlı gelişen bir araştırma alanıdır. Fizikten bilgisayar bilimlerine ve bilgi teorisine, matematikten felsefeye kadar değişen disiplinlerde çalışan, farklı farklı evveliyatlara sahip araştırmacıların sayısı giderek artıyor. Hepsi de kuantum temelli hesaplamanın niteliklerini araştırmakla uğraşıyorlar.

Kuantum mekaniği temelli hesaplamalar yerine klasik fiziğin yasalarıyla çalışmanın bilgi işleme sürecinde bizi tamamen farklı kısıtlamalara sürüklediğini ilk fark eden kişi Amerikalı fizikçi Richard Feynman'dır. Daha sonrasında ondan bir şekilde bağımsız olarak bu fikri açımlayan kişi Feynman'ın İngiliz meslektaşı David Deutsch'tır. İki fizikçi de kita-

bın birinci ana bölümünde bahsi geçen John Wheeler'in öğrencisi oldukları için fizik ve hesaplama arasındaki temel bağlantı konusuna yönelik çalışmaları pek de şaşırtıcı gelmiyor.

Kuantum hesaplamanın en başarılı iki uygulaması, büyük sayıların faktorizasyonu (çarpanlara ayrılması) ve büyük bir veritabanının araştırılması konusunda karşımıza çıkmaktadır. İlk problem, günümüz kriptografisinin büyük asal sayıların çarpanlara ayrılmasının zorluğuyla ilgili olması (bunu daha sonra tartışacağız) bağlamında önemlidir, ikincisinin önemiyse doğadaki *her problemin,* birkaç (ya da birkaç milyon) yanlış cevap arasından doğru cevabı seçmek için yapılacak bir taramaya indirgenebileceğini göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bu taramalar öylesine her yerde karşımıza çıkan şeyler ki bilgisayarınızda bir dosya aramanızdan tutun da güneş enerjisini faydalı işe dönüştürmek isteyen bir bitkinin bir molekülü aramasına kadar (bu konuyu da daha sonra inceleyeceğiz) çeşitlilik gösteriyor.

Peki kuantum mekaniği bu konularda nasıl yardımcı oluyor? Neden günlük kullandığımız bilgisayarlarla bu işleri halletmiyoruz? Elbette yapabilir ve bilgisayarlarımızı bu amaçlar için kullanabiliriz ancak asal çarpanın ya da taranacak listenin boyutları büyüdükçe cevabı almak da giderek daha uzun sürüyor. Kuantum fiziği bu tür problemleri aşmamıza yardımcı oluyor, çünkü her bir olasılığı ayrı zamanda kontrol eden geleneksel bilgisayarların tersine kuantum fiziğiyle çoklu olasılıkları aynı anda kontrol edebiliyoruz.

Burada Bell laboratuvarlarının bir iki şöhretli çalışanından daha bahsedelim; Peter Shor ve Lov Grover (daha önce sözü geçen Claude Shannon'a ek olarak). Shannon bir telefon kablosu üzerinden gönderilen mesajların optimize edilmesiyle ilgili çalışırken, Shor 1192 yılında bu mesajların güvenliğiyle ilgili ayrıntılara dalmıştı.

Güvenlik hayatın pek çok alanında önemlidir. Siz nasıl ödemelerinizi yaparken kredi kartı bilgilerinizin güven içinde olmasını istiyorsanız, hükümetler ve çeşitli şirketler de belgelerinin güven içinde saklanmasını, halkın ya da diğer hükümetlerin veya şirketlerin erişiminden uzak olmasını isterler. Bölüm 8'de de tartıştığımız gibi modern dünyada gizlilik, bir şeyin "hesapsal olarak güvenli" olabilmesi kavramıyla ilgilidir. Yani bir şeyin şifresini kırma hesapları yapılırken aşırı zaman ve güç harcanması gerekiyorsa, o şey güvendedir. Örneğin bilgisayarların iki sayıyı çarpması çok kolaydır. Bunu kendiniz de kontrol edebilirsiniz. Yüz basamaklı uzun bir sayıyı alın (örneğin; 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000 00000000000000000000000000000000000000000000 gibi büyük bir sayı) ve bilgisayarın çarpma yapmasını isteyin. Bilgisayar bu komutu bir saniye gibi bir sürede sonlandıracak, sizse zaman hiç geçmemiş gibi hissedeceksiniz.

Öte yandan büyük bir sayının çarpanlarını hesaplamak son derece zordur. Çünkü keşfedilecek çok fazla olasılık bulunmaktadır. 100 sayısını düşünelim. Çarpanları nelerdir? İki çarpı 50 eşittir 100. Ama 4 çarpı 20 de 100'dür. Ya da 5 çarpı 20 ya da 10 çarpı 10. Çarpanların sayısı çabucak büyür ve günümüzün herhangi bir (klasik) bilgisayarıyla tamamını bulmak çok zordur (çünkü daha ilk başında sayıları çarparken üssel olarak çok yavaştır).

Peki bir kuantum bilgisayarı çarpanlara ayırma işlemini böylesine etkili bir şekilde nasıl yapabiliyor? İlk olarak Shor tarafından ortaya atılan ve şimdi Shor algoritması olarak bilinen açıklaması şöyle: Bir kuantum bilgisayarı süper-pozisyonların kuantumsal ilkelerinden faydalanarak aynı anda pek çok farklı halde var olabilir. Aynı zamanda birçok farklı uzaysal mekânda süper-pozisyon varoluşunda olabilen bir bilgisayar imgeleyin. Ve makinenizi elinizdeki sayıyı farklı bir

sayıyla bölecek çarpanları araştırmak üzere bu mekânların her birinde yapılandırabildiğinizi düşünün. İşte size muazzam ve dehşete düşüren bir sürat! Bir kuantum bilgisayarı tüm bu bölme işlemlerini her biri farklı uzaysal mekânda olmak suretiyle eşzamanlı yapabilir. Ve bir tanesi başarıya ulaştığı anda çarpanlarımızı bulmuş oluruz!

Bir ATM'den para çekerken PIN kodunuzun nasıl güven sağladığını hiç mi merak etmediniz? Nasıl oluyor da banka personeli ya da banka PIN kodunuzu ele geçiremiyor? Siz yazarken kodunuzu ele geçirip paranızı nasıl çalamıyorlar?

Çünkü ATM aşağıdaki işlemleri yürütüyor. Paranızı çekmek için kodunuzu ekrana yazdığınızda, bu sayı (genellikle dört ya da altı basamaklı bir sayıdır) çok büyük bir sayıyla (diyelim 500 basamaklı) çarpılır. Ortaya çıkan sayı (504 basamak uzunluğundaki) banka tarafından kontrol edilir. Eğer veritabanında bu sayı varsa banka işlemin devam etmesine izin verir.

Fakat –buradaki fakat önemli– banka, sizin PIN kodunuzu veritabanlarında bulunan 504 basamaklı uzun sayıdan çıkarıp da bulamaz. Çünkü bunu bugünkü bilgisayarlarla yapmaları gerçekten çok uzun, evrenin yaşından da uzun bir zaman alır!

Bu konunun en mühim noktası şu ki bir kuantum bilgisayarı kullandığımızda sayıları çok hızlı bir şekilde çarpanlarına ayırabiliyoruz. 10.000 kuantum biti olan bir kuantum bilgisayarımız varsa, 500 basamaklı bir sayıyı birkaç saniye içinde çarpanlarına ayırabiliriz. Ve bu da bugünkü güvenlik sisteminin çöküşü olur!

Öte yandan Lov Grover 1966 yılında tamamen farklı bir probleme odaklandı. Bir kuantum bilgisayarının sunduğu kütle paralelliğini (mass parallelism) kullanarak etkili bir arama algoritması tasarlanması üzerine çalışıyordu. Grover'ın

fikrini açımlamak adına aşağıdaki örneğe bakalım. Çok sayıda kitap bulunan bir kütüphanede kitap aradığınızı düşünelim. Ancak kitaplar rakamlarla ya da farklı bir düzene göre dizilmemiş, yani aradığınız bir kitabı bulmak istiyorsanız, bulana kadar bütün kitapları taramak zorundasınız. Bu kütüphanede bir milyon tane kitap varsa ve her bir kitabı kontrol etmek bir saniye sürüyorsa bu iş gerçekten uzun sürecek demektir (bir milyon saniye yaklaşık iki hafta demektir)! Bir kuantum bilgisayarı işleri öylesine hızlandırır ki bu iş birkaç bin saniyede bitebilir (bir milyon saniye yerine) ve bu da işin birkaç saatte biteceğini gösterir. Grover'ın ispatlamayı çalıştığı şey budur.

Dört girdili bir listede (iki bilgi bitiyle 00, 01, 10, 11 ile sınıflandırılan) doğru olanı bulabilmek için normalde en fazla üç tarama yapmak zorundayız. Çünkü elemanların her birine bakmamız gerekir ve eğer şansınız kötü gitmemişse ilk baktığınız üç elemanda aradığınız şeyi bulamazsınız. Öte yandan kuantum taraması dört elemanlı bir kuantum veritabanını yalnızca bir adımda halleder. Çünkü veritabanının boyutu arttıkça kuantum avantajı da yükselir.

Dört elemanlı bir veritabanını araştırıp aradığımız şeyi bulmak demir parayı iki kez atıp ikisinin sonucunu da gözlemlemek gibidir. İlk demir para atışı istenen elemanın veritabanının hangi yarısında olduğunu sorgulamaya tekabül eder (yani paranın üst kısmında mı alt kısmında mı), ikinci demir para atışı ise size tam olarak istediğiniz elemanı verir (yani kalan iki eleman için, biri mi diğeri mi şeklinde). Dört sonucu birbirinden benzersiz şekilde ayırabilmek için en az iki atış yapmanız ya da işin iki adımı olması gerekliliği klasik fizikte kaçınılmaz bir sonuçtur.

Bununla birlikte kuantum bilgisayarlarında bunu yarı çabayla, yani sadece tek adımda yapabiliriz. Bu kuantum hesa-

bı iki demet bölücüsünden geçen tek bir foton örneğine benziyor. Burada da dört farklı olasılığımız var (YY[48], GY[49], YG, GG) ancak kesin tek sonucu almak için yalnızca tek bir fotona ihtiyacımız var. Kuantumun süper-pozisyon niteliği, tek bir fotonun dört farklı olasılığı aynı anda tetkik etmesini ve nihayetinde farklı yolların girişimi marifetiyle onları tek ve kesin bir sonuca (yani aradığımız elemana) götürmesini sağlar. Bu mantık, çok sayıda elemanlı veritabanını herhangi bir klasik bilgisayardan daha hızlı tarayabilen bir kuantum bilgisayarı dizayn etmek adına genellenebilir.

Tarama probleminin kuantum bilgisayarlarının hızlanmasıyla ilgili problemlerden biri olduğu gerçeği, hemen her problemin bir arama algoritmasıyla ifade edilebileceği düşünüldüğünde özellikle ilginç hale gelir. Örneğin konu çarpanlara ayırma bile olsa, bize istenen cevabı verecek tüm olası çarpanları tarıyor olmamız anlamında bu da bir arama algoritması yoluyla yeniden ifade edilebilir. Bu durumda birden çok cevap olabilir, ancak problem kavramsal olarak aynı problemdir. Keza çarpanlara ayırma örneği yerinde bir örnektir, çünkü yukarıdaki konuda arama algoritmasının Shor algoritması kadar etkili olmadığı ispatlanmıştır. Bu zaten beklenen bir şeydi. Arama algoritması genel bir algoritmadır ve her tür arama problemine uygulanabilir. Halbuki Shor'un çarpanlara ayırma algoritması, özellikle çarpanlara ayırma sorunsalına yönelik hazırlanmıştır ve işini problemin yapısıyla ilgili gizli nitelikleri kullanarak halleder. Konuyu kendi bağlamında toparlayalım. Kuantum hesaplaması klasik hesaplamaya göre dikkate değer ölçüde daha kuvvetli bir hesaplama modeli sunsa da, genel kuantum arama algoritması yerine

48 Yansır, yansır

49 Geçer, yansır.

klasik algoritmayla daha etkin şekilde çözebildiğimiz klasik problemlerin de varlığını sürdürmesi oldukça anlaşılabilir bir şeydir.

Kuantum hesaplamanın klasik problemleri çözerken önüne dikilen temel engel şudur. Sorduğumuz sorunun kesin bir cevap gerektirdiğini düşünürsek, cevabı çıkarsamak için en nihayetinde bir ölçüm yapmak zorundayız. Bu ölçüm gerekli olsa da, tabiatı gereği olasılıksal bir süreçtir ve cevabımızın yanlış olabilmesiyle ilgili sonlu bir olasılık daima bulunur. Bazı vakalarda, örneğin Shor algoritmasıyla cevabın doğruluğunu klasik olarak denetlemek basittir, öyle ki cevap doğru değilse kuantum bilgisayarını yeniden işleme sokar ve başarıya ulaşana kadar devam ederiz. Ancak kimi durumlarda daha yaratıcı sonuçlar bulmak zorunda kalırız. Okuyucunun zihnini bu kısıtlama konusuyla çok fazla dağıtmaya gerek yok çünkü kuantum hesaplarının uygulanması anlamında çok da büyük bir engel oluşturmuyor. Etkin sonuçlar alınamamasının çok daha ciddi bir sebebi çevresel gürültüdür ve pratikte kontrol altına alınması oldukça zordur. Klasikleşmiş arkadaşlarından daha etkin olmak isteyen her kuantum hesaplaması bu iki konuyla cebelleşmek durumundadır.

Kuantum bilgisayarlarının, çarpanlara ayırma ve kuantum algoritma arama konularına ek olarak klasik bilgisayarlara nazaran çok daha iyi halledebilecekleri bir dolu özel mesele vardır. Bununla birlikte bir kuantum bilgisayarının en hayranlık uyandırıcı uygulama alanı karmaşık fiziksel sistemlerin simülasyonudur. Atmosferimiz gibi bazı sistemler öylesine karmaşıktır ki halihazırdaki bilgisayarlarla simülasyon yapmak son derece zordur ve muazzam zaman alır. Aslında normal bir bilgisayarla daha basit sistemlerin, örneğin 20 atomluk bir fiziksel sistemin simülasyonunu yapmak bile çok zordur. Bununla birlikte bu problemler bizim için çok önemli ve

ömrümüz bitmeden bu problemlere çözüm bulmak istiyoruz. Elbette bugün normal bilgisayarlarla bu problemlerin simülasyonunu yapabiliriz, ancak makul bir zaman dilimi içerisinde cevap almak adına sadece birkaç ana niteliğin simülasyonunu gerçekleştirerek bütünlüklü ve üzerinde uzlaşılmış içerisinde bir sonuç elde etmiş olmayız. İklim koşulları konusunda daha iyi kestirimler yapmak, üstelik bunu yaparken günlük değil uzun vadeli düşünmek istiyoruz. İklim koşullarını daha doğru tahmin etmek yalnızca yaşantımızı daha keyifli hale getirmek adına önem taşımıyor, yerkürede canlılığımızı sürdürmemiz açısından da kritik önem taşıyor. Ve bu yüzden çeşitli hava koşullarının evrimini gerçekten de daha iyi anlamamız gerekiyor.

Kuantum bilgisayarlarıyla başka sistemlerin simülasyonunu yapma konusu daha dünkü çocuktur. Bu öylesine keşfedilmemiş bir bölge ki hiçbir sınırını ya da getireceği kısıtlamaları bilemiyoruz. Ben kendi adıma bu konunun gelecekte büyük bir çıkış yapacağını düşünüyorum ancak şu an bulunduğumuz evrede meselenin gerçek kuvvetini kavrayabilmek gerçekten zor görünüyor.

Mühendisler ve bilgisayar bilimcileri için engel teşkil etmekten ziyade tuhaf tuhaf heyecanlar yaşatan kuantum mevzuunun, kuantum bilgisayarları yapılandırmak amacıyla teknolojik amaçlar için de kullanılabiliyor olması ilginçtir. Yeni yapılandırılacak kuantum bilgisayarlarının tabiatına içkin bu tuhaflıklar, şu an kullandığımız herhangi bir bilgisayarla yapılabilecek işlemlerden çok daha hızlı iş görmek için kullanılabilir. Hesaplamayı çıktı ve girdi arasındaki karşılıklı bilgiyi maksimize eden bir süreç olarak düşünelim. Yani hesaplamanın hızını, karşılıklı bilginin yapılandırılma oranı, başka bir söyleyişle çıktı ve girdi arasındaki korelasyonların güçlenme oranı olarak anlayalım. Dahası, qubitlerin bitlerle mümkün

olandan daha yüksek seviyede karşılıklı bilgi sunabilmesinin de, Shor ve Grover algoritmalarında gördüğümüz kuantum hızlanma konusuyla doğrudan doğruya ilgili olduğunu bilelim.

İyi haber şu ki küçük ölçekli kuantum bilgisayarları halihazırda kullanıma girdiler. Bu kuantum bilgisayarları çok sınırlı bir temelde işlem yapsalar da klasik bilgisayarlarla yakalayabileceğimiz hızlanma seviyesinin çok ötesinde bir seviye ortaya koymaktalar.

Kuantum bilgisayarlarının yapılandırılması üzerinden konuşursak, qubitleri atomlar üzerinde, atom altı parçacıklar üzerinde, çoğu atom topağı üzerinde, ışık üzerinde ya da belki tüm bunların bir kombinasyonu üzerinde kodlanabiliriz. Bununla birlikte şu an bunların hiçbiri bellek oluşturmaları anlamında aracılık yapamıyorlar, yani diyelim ki süper pozisyon halindeki 1000 qubit daha karmaşık hesaplamaları yeterince uzun süre destekleyemiyor.

Peki dört başı mamur kuantum bilgisayarının ne kadar uzağındayız? Yani, binlerce ya da milyonlarca qubiti süperpozisyonda tutabilecek bir uygulamaya daha ne kadar var? Uzatmadan cevabı verelim; çok ama çok uzaktayız. Öyle ki şu anki güncel kayıtlarımızda bu uygulamayı yalnızca 10-15 qubitle yapabildiğimizi yazmaktadır. Bununla birlikte kuantum mekaniksel olarak bilgi kodlamanın daha pek çok yolu var, çünkü kuantum bilgisi kodlamak için kullanılacak çok farklı sistemler var. Örneğin iyon kapanındaki iyonlar, bir kovuktaki fotonlar, serbest fotonlar, nükleer manyetik rezonanstaki elektron dönüleri, elektro-paramanyetik (dizil-mıknatıssal) rezonanstaki elektron dönüleri ve bir dolu katı hal aygıtları (süper iletkenler gibi). Anlayacağınız uygulama için aday sıkıntısı çekmiyoruz!

Bugünlerde deneysel fizikçiler atomlar üzerinde mükem-

mele yakın bir kontrol sağlamış durumdalar. Çok küçük bir kapandaki (bir metreden bir milyon kez daha küçük bir düzenlemede) tek bir atomu izole etmek gibi çeşit çeşit konularda mühendislik çalışmaları yapabiliyorlar. Peki tek bir atomun orada konuşlandığını nereden biliyorlar? Çünkü bu küçük alan üzerine bir tür lazer ışığı veriyor ve lazer içeride yansıyorsa atomu görebiliyorlar.

Peki 10-15 qubitle neler yapabiliriz? Elbette şu anki bilgisayarlarımızın yapamadığı şeyleri yapabildiğimiz falan yok. İki sayıyı, örneğin 3 ve 5'i çarpıyoruz ve 15'i elde ediyoruz. Ama bu daha başlangıç! Elbette bunu herkes yapabilir ama bu tarz deneylerin önemi bunun kuantum seviyesinde yapabileceğini göstermesindedir. Bu tamamen yeni bir oyundur. Geleneksel bilgisayarlar 3 ve 5'i çarpabilmek için 10.000 atoma gereksinim duyar. Kuantum bilgisayarlarıysa bu anlamda daha etkindir. Utanç verici olan şeyse, şu an hiçbir kuantum teknolojisinin 15 qubitten fazlasıyla hesap yapmayı bilmemesidir.

Sorulması gereken soru şu: Kuantum bilgisayarlarının ölçeğini büyütmek neden bu kadar zor? Bu sorunun cevabı Bölüm 8'de sorduğumuz soruya verilen cevapla aynıdır. Kuantum etkilerini neden makroskobik düzeyde göremiyoruz? Basitçe ifade edecek olursak, bunu yapmak için aynı zamanda farklı hallerde olabilecek (böylece kuantum davranışı sergileyebilecek) büyük sistemlere ihtiyacımız var. Zorluk buradadır. Ve fakat büyük sistemlerde, sistemin içinde bulunduğu hal hakkındaki özellikli bilginin dış çevreye sızması için daha fazla yol ve olanak bulunmaktadır. Ve bilgi dışarıya sızdığı anda süper-pozisyonlar ve onlarla birlikte kuantum bilgisayarları da tahrip olmaktadır. Bilginin dışarıya sızma süreci, çevrenin (yani sistemin dışındaki ortamın) sistemin haliyle ilgili bilgi toplamak üzere bir ölçüm gerçekleştirmesi olarak da düşünülebilir. Kriptografiyle ilgili tartışmadan biliyoruz ki bu

durum olduğunda, söz konusu kuantum sisteminin zedelenmesi kaçınılmaz oluyor. Teknik dilde bu durum *eşevreli olmama*[50] durumu olarak bilinir. Yani esasen geniş ölçekli kuantum bilgisayarları yapmamızın önündeki zorluğun (yani yapamamamızın) sebebi, insanları aynı zamanda farklı yerlerde görememizin (birkaç tane içki yuvarlarsanız o başka tabii) sebebiyle aynıdır.

Burada suç olgusu yoluyla dikkat çekici bir analoji kuralım. İstatistikî veriler en başarılı soyguncuların işini yalnız başına halledenler olduğunu gösteriyor (kadınlar bunu daha sık yapıyorlar, demek ki onlar daha başarılı soyguncular). Olayın özü şu; çetenizdeki insan sayısı arttıkça, herhangi birinin size hıyanet etme ihtimali de o kadar yükseliyor. Mantığımız da bunu doğruluyor. Çünkü aynı bilgiye sahip insan sayısı ne kadar fazlaysa, bilginin dışarıya sızıverme olasılığı da o kadar yüksek oluyor. Böylelikle atomların da tıpatıp aynı ilkeyle çalıştıklarını düşünebiliriz. Süper-pozisyon durumundaki atomların sayısı ne kadar fazlaysa, herhangi birinin çevreyle eşevreli olmama durumunu engellemek de o denli zorlaşıyor.

Elbette bunlar kuantum bilgisayarları adına kötü haberlerdir. Peki güvenilir, geniş ölçekli kuantum bilgisayarları yapılandırmak mümkün olmayacak mı? Neyse ki bu soruyu "hayır mümkün olacak" şeklinde yanıtlayabiliyoruz. Mükemmel suçun aksine, mükemmel kuantum bilgisayarlarına gerçekten de sahip olabiliriz. Peki nasıl? DNA kopyalanmasını güvenli kılan ne ise bu kuantum bilgisayarlarına ulaşmanın yolu da aynıdır. Çözüm artıklıkta (redundancy)!

Bilgisayarınızda 100 işe yarar kuantum biti olsun istiyorsanız, 1000-qubit büyüklüğünde bir kuantum bilgisayarı yap-

50 İng: Decoherence: Eşevreli olmama. Coherence: Eşevrelilik.

mak zorundasınız. Bu demek oluyor ki her bir qubit için ek olarak dokuz qubitiniz olacak ve böylece bir tanesi rastlantısal olarak eşevreli olmama durumuna girerse kalan dokuzuyla hâlâ çoğulcu bir karar alabileceksiniz. Böylece kuantum süper-pozisyonları korunabilecek. Artıklık eklemenin daha optimal yolları olsa da, ana kavram özünde budur.

Bu satırları yazarken (2008 yazı) halen kuantum hesapsal mikroçipler yapma yolunda ilerliyoruz. Dahası bu söylediğim şu an tam da burada, Singapur'da oluyor (bunu devlet üniversitesi kampusunda Spinelli cafede oturmuş, duble espressomu yudumlarken söylüyorum). Deneysel fizikçiler bu mikroçipler üzerinde süper-soğuk atomlar ve az sayıda eşevreli fotonlar içeren bileşenler bütünlemeyi deniyorlar. Mikromühendislik son 20 yılda öyle gelişti ki insan iki boyutlu bir çipin küçücük alanına ne denli çok şey sıkıştırılabileceğini görünce gerçekten şaşkınlığa sürükleniyor. Tamamen kuantum hesapsal bir birim yapmak için daha 5-10 yılımız var fakat şu an yapılan kuantum araştırmaları öylesine yaratıcı fikirlerle dolup taşıyor ki bizi gerçekten de büyük kuantum bilgisayarlarının yapılacağı beklentisine sokuyor!

Bir kuantum bilgisayarı yapılandırma mücadelesi, yaşayan sistemlerde de olduğu gibi, nihayetinde entropiye karşı verilen bir mücadeledir. Dilemsel (gelişigüzel) bir fiziksel sistemin bütüncül entropisi ne kadar düşük olursa, bileşen atomların girift hale getirilebilme ihtimali de o kadar yükselir. Kuantum hesaplama için gereken tipik atomların genellikle mutlak sıfıra yakın (bir kelvinin[51] milyarda biri) bir sıcaklıkta olması lazımdır. Öte yandan laboratuvarın geri kalan bölümünün sıcaklığının bu sayıdan 300 milyar kez fazla olduğu

51 Kelvin: Uluslararası sistemde termodinamik ısının temel birimi. Bir kelvin (K) bir Celsius derecesi ne eşittir. Kelvin derecesinin (skal) sıfır (donma) noktası 273, 16 K ve su kaynama noktası 373, 16 K'dır.

düşünüldüğünde, olay daimi bir mücadeleye dönüşür. Bu bir anlamda Maxwell'in şeytanı senaryosuna benzer. Bu senaryoda işe yarar bir bilgi işleme sürecinin tamamlanabilmesi için sistemin entropisini düşürecek bir işleme ihtiyaç duyuluyordu.

2003 yılında Syantani Ghosh ve çalışma arkadaşları bazı makroskobik nesnelerde kuantum etkilerinin görülebileceğini ispatlayan ilginç bir kanıt sundu. Ghosh çok sayıdaki atom arasında gerçekleşen kuantum süper-pozisyonlarının, milyarlarca atom ihtiva eden bir parça tuzda ve birkaç milikelvinlik derecelerde gerçekleşebileceğini gösterdi. Bu büyük bir şok dalgası yarattı çünkü tüm gücü atom altı parçacıklarının sonsuzca küçük dünyasına hapsolmuş gibi düşünülen kuantum fenomeninin, makroskobik ölçeklerde ölçülebilirliğini sürdüren etkiler üretebileceğini göstermiş oldu.

Bu öylesine anlık bir keşifti ki herkes için inanması güç oldu. Prestijli bilim dergisi *Nature*'a 2000 yılında gönderdiğim bir makalede benzer kestirimlerde bulunmuştum ancak bilimsel çevreler beklendiği üzere buna gülüp geçmişlerdi. Bu kestirimin Ghosh'un deneyiyle teyit edilmesiyle birlikte, kuantum bilgisinin gizemi de mancınık hızıyla daha geniş bir bölgeye sıçramış oluyor. *Nature* gayet nazik davranarak Ghosh'ın makalesini bana yolladı, kestirimlerimden birinin doğrulandığını (ki pek de sıklıkla olan bir şey değildir) görmenin hoşuma gideceğini düşünüyorlardı. Daha da güzel olan şeyse Ghosh'un vardığı sonuçlardan başka sonuçların da başka yerlerde yayımlandığını görmekti. Bu deneylerden bazıları da söz konusu sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmişti (hatta oda sıcaklığında yapılan gözlemler bile var ve bu insanı ürpertiyor!).

Makroskobik sistemlerdeki ileri düzey kuantumsal etkilerin aynı zamanda farklı yerlerde var olmalarını artık daha sık ve

daha bariz şekilde gözlemliyoruz ve bu bize umut veriyor. Belki bir gün doğanın bize zaten bir kuantum bilgisayarı sunmuş olduğunu keşfederiz ve geriye sadece onu programlamak kalır. Neticede doğa insandan önce zaten pek çok şeyi icat etti ve marifetle kullanıyor. Radar ve artıklık yoluyla hata düzeltme, yaşayan sistemlerin sergilediği hünerlerden yalnızca ikisidir. Acaba bir yerlerde kuantum hesaplamanın hızlanma avantajlarını kullanan canlı bir sistem bulunuyor mu? Ya da belki zaten kuantum hesaplama öylesine her an her yerde bulunan bir olgu ki yaşayan her hücrede mevcudiyet sağlıyor.

Doğal süreçlerin yaptıkları işlerde işlevsel olmak adına kuantum ilkelerini temel aldıklarına dair kanıtlarımız gün geçtikçe artıyor. Örneğin yerküredeki hayatın devamını sağlayan ana doğal süreçlerden biri olan fotosentezi düşünelim.

Okuyucu, yaşayan tüm varlıkların termodinamik motorlar gibi olduklarını Bölüm 5'ten hatırlayacak. Bu anlamda esas görevleri düzensizliği artırmaya yönelik doğal eğilimlerle savaşmak olan Maxwell şeytanlarına benziyorlar. Yaşam bunu güneşten gelen son derece düzensiz enerjiyi soğurup onu daha düzenli ve faydalı bir forma sokarak zaten yapıyor. Bitkilerin güneşten gelen ışık enerjisini soğurup, depolayıp ve sonrasında kullanma mekanizmasına fotosentez deniyor. Bu enerji düzenli bir forma sokulup hücrelerin işlevlerini yerine getirmeleri için kullanılıyor. Kaliforniya'da Berkeley Üniversitesi'nde Graham Fleming ve grubunun yaptığı etkileyici deneyler kuantum etkilerinin fotosentez sürecinde büyük önem taşıdığını ortaya koyuyor. Dahası, fotosentetik enerji transferi ve Grover'ın kuantum arama algoritması arasındaki yakın ilişkiye de işaret ediyor. Diğer bir söyleyişle, bitkiler tahminimizden çok daha etkinlerdir ve belki de temel bir kuantum bilgi süreci yaptıkları işe katkı sağlamaktadır. Biyolojik bitki randımanı son derece yüksektir, öyle ki bitkiye çarpan

radyasyon (ışınım) %98 gibi yüksek bir oranla depolanır. Öte yandan insanların yaptığı en iyi fotoseller %20 gibi bir randımana bile zar zor ulaşıyorlar. Ortada muazzam bir fark var gibi görünüyor. Peki bitkiler bunu nasıl yapıyor?

Kusursuz bir cevabımız olmasa da resmin bütününe bakarak şunları söyleyebiliyoruz. Güneş ışığı kendisini dikkatle soğurup depolamak üzere tasarlanmamış bir yüzeye çarptığında, bu enerji genellikle ısıya dönüşerek dağılır ya da yansır. Önemli olan sonrasındaki iş olduğu için iki durumda da kaybolmuş sayılır. Yüzeydeki enerji yitiminin sebebi her bir atomun diğer atomlardan bağımsız şekilde hareket etmesidir. Işınım böyle eşevresiz ve tutarsız bir halde soğurulduğunda tüm o faydalı nitelikleri de yitip gider. Atomların ve moleküllerin yüzeyde ahenk içerisinde hareket etmeleri gerekir. Tüm yeşil yapraklı bitkilerin başarıya ulaşmalarının sebebi bu ahenk niteliğine sahip olmalarından kaynaklanır.

Bir bitkideki bir molekülü, Grover'ın arama algoritmasındaki bir veritabanı elemanı olarak düşünmek konuyu anlamamıza yardımcı olacak. Tüm moleküller birbirleriyle etkileşim kurarken titreşirler. Işık moleküllere çarptığında moleküller titreşimlerini ve dinamiklerini değiştirirler. Sonuçta ortaya Grover dinamiğinin sonucu olan bir durum çıkar. Yani nihayetinde en istikrarlı ve kalımlı konfigürasyonu sağlayan enerjiyle sonlanır (işte bu konfigürasyon Grover algoritmasının tanıladığı veritabanı elemanıdır).

Fleming'in deneyleri 77 kelvin gibi düşük bir sıcaklıkta yapılmıştı (bitkiler normalde 300 kelvinlik sıcaklıkta işletim yaparlar). Sonuç olarak kuantum etkilerinin yüksek sıcaklıkta varlıklarını sürdürebilecekleri kesin değildir. Ama yine de kuantum hesaplamanın yaşayan sistemlerde uygulanmasına dair esaslı bir olasılık dahi, son derece heyecan verici bir araştırma alanı açıyor.

Oysa işler daha da büyüyebilir. İşte en etkileyici teori: Kuantum teorisi belki de yaşamın en ama en temeli için gereklidir. Bölüm 4'ten hatırlayacağınız üzere yaşamı kopyalayan bilginin dört farklı elemana kodlandığından bahsetmiştim. Bu elemanlar A, C, T ve G diye adlandırılan dört temel moleküldü. Bunu dört kayıtlı basit bir veritabanı olarak düşünürsek DNA kopyalayıcı bilgisayarın görevi dilemsel (gelişigüzel hareket eden) bir DNA iplikçiğini taramak ve veritabanından her bir molekül için uygun kaydı seçmektir. Veritabanı mantığı, A daima T ile ve C daima G ile eşleşir, diyor. Bu bizim hücrelerimizdeki kopyalama sürecinin simülasyonudur çünkü bir DNA iplikçiğindeki her molekül arkadaşını yeni bir DNA iplikçiğinde bulur. Bu anlamda DNA kopyalamasıyla dört elemanlı veritabanı konusu arasında analoji kurulabilir.

Arvind adlı bir Hint fizikçi 1990'ların sonlarına doğru bir soru sordu. Doğa yaşamı kodlamak için neden iki bit (dört molekül) kullanıyor? Sadece bir bitle (yani iki molekülle) daha basit olmaz mıydı? Hatırlayacağınız üzere bu soru Bölüm 4'te sorduğumuz en önemli sorulardan biridir. Her şeyin tek bir bitle yapılabileceğini bildiğimiz ve sezgilerimiz de bunun daha basit olacağını söylediği için iki bit kullanmak garip görünüyor. Peki doğa neden ekstra çaba sarf ediyor? Doğa her şeyin en başındayken iki bitli kodlama yerine tek bitli kodlamaya rastlayıverseydi daha kolay olmaz mıydı? Arvind'in verdiği cevap açıktır: Tek bitle iş daha kolay olabilir ancak arama yaparken iki kuantum bitiyle büyük bir kuantumsal avantaja sahip oluyoruz. İki kuantum biti olduğunda Grover'ın kuantum arama algoritması sadece tek bir adımda çözümü buluyor. Böyle olunca da, kopyalama hızını optimize ettiğimizde ve eşit sayıda işlemsel adımda iki kuantum biti bir kuantum bitine göre çok daha etkin bir bilgi işleme süre-

ci sağlıyor. Kim bilir, belki de doğanın düşündüğü şey buydu?

Arvind'in çözümü zekice ancak burada kritik bir mesele söz konusudur: DNA aslında bir kuantum bilgisayarı olabilir mi? DNA bir makro moleküldür ve moleküllerin aynı anda farklı hallerde nasıl var olabildiği konusu şu an için anlaşılmış değildir. DNA'nın klasik hesaplama temeline mi yoksa kuantum hesaplama temeline mi dayandığı hakkında da kayda değer bilgimiz yok. "Kayda değer" diyorum çünkü DNA üzerinde sadece son 60 yıldır böyle kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır. Bu yüzden sabırlı olmalıyız ve problemin ucunu açık bırakmalıyız.

Büyük resme baktığımızda, daha geniş sistemlerin belirli bazı koşullar altında kuantum etkileri sergilemeye muktedir olduklarını görüyoruz, fakat bunu nasıl genelleştirebileceğimizi bilmiyoruz. Belki de her şey kuantum etkisi sergiliyor. Yapmamız gereken tek şey doğru şekilde bakmak. Peki maddenin ya da enerjinin herhangi bir karmaşık parçası, uygun dış koşullar sağlandığında bir kuantum bilgisayarı olarak kullanılma potansiyeli taşır mı? Bir adım daha atıp konuyu Church-Turing'in evrensel hesaplama makinesi teziyle bağdaştırırsak şöyle bir noktaya geliriz. Evrenin herhangi bir parçası daha çok etkin ya da daha az etkin bir davranımla, evrenin başka bir parçasının simülasyonu olabilir. Belki de gerçekliğin kendisi çok katmanlı karmaşık bir kuantum hesaplamanın ürünü olarak görülebilir. Bu elbette büyük bir inanç sıçramasıdır, lakin Bölüm 12'deki tartışma konumuzu oluşturuyor.

Anahtar Noktalar

- Kuantum bilgisayarları günümüzde eriştiğimizden çok daha ileri düzeyde bir bilgi işleme sürecini gerektirirler. Onlar, fizik yasalarının şimdilerde yapılandırmamıza izin verdiği en küçük ve en hızlı cihazlardır.
- Kuantum bilgisayarları geleneksel bilgisayarların çözemediği önemli problemlerimizi çözerler. Çarpanlara ayırma ve arama problemi bunlara örnektir. İlki çeşitli güvenlik protokollerinde, diğeriyse çok sayıdaki optimize etme teknikleriyle ilgili kullanılır.
- Kuantum bilgisayarları uzak bir hayal değildir. Dünyanın pek çok yerindeki laboratuvarlarda halihazırda yapılandırılmaktadırlar.
- Kuantum etkileri, katı parçacıklar ve canlı sistemlerdeki organik moleküller gibi makroskobik nesnelerde deneysel olarak gözlemlenmektir.

10

Başıboş İhtimallerin Çocukları: Rastlantısallığa Karşı Determinizm

Gerçekliğin tümünü kodlamamızı sağlayan nihai yasa *P*'yi ararken çok temel bir engele takılıp kalıyoruz. Almanların da öne sürdüğü üzere *P* tamamen kapsayıcı bir yasa olamaz çünkü basitçe kendi kökenine açıklama getiremez. *P*'yi türetebileceğimiz, fakat *P*'den daha temel bir yasa bulmamız gerekiyor. Ancak bu temel yasa da yine başka bir yerden gelmek durumunda, yani yine akıl hastanesindeki akıl hastası metaforuna gelip dayanıyoruz. Hasta oturduğu bahçenin resmini çizmeye çalışıyor ancak kendini resme tamamen oturtmanın yolunu bir türlü bulamadığı için sonsuz döngüye yakalanıyor.

Öyleyse buradan gerçekliği hiçbir zaman anlayamayacağımız sonucu mu çıkıyor? Başlangıç olarak aldığımız postulatın kendi kökenini açıklamak zorunda olduğu düşünülürse belki de durum böyle. Gerçekliğin temelini oluşturan her yasa nihayetinde a priori bir yasaya ihtiyaç duyar. Bu da bizi bir kısır döngüye sokar. Peki başarısızlığa boyun mu eğeceğiz yoksa bir çıkış yolu bulabilecek miyiz? Olayların a priori sebeplere gereksinim duymadıkları, sonsuz döngüyü kırılabileceği temel bir seviye var mı?

Peki bir olayın a priori bir sebebi olması ne demek? Cevap: Tüm o olayı önceleyen bilgimiz dahilinde bile, bu olayın olacağını çıkarsayamamamız demek. Dahası da var. Eğer bu evrende gerçekten de neden sonuç ilişkisi olmayan olaylar oluyorsa buradan gerçekliğin, temelinde rastlantısal ve deterministik bir şeye indirgenemeyecek bir elemana sahip olduğu sonucuna götürür.

Oldukça tartışmalı bir alanın içindeyiz ve bu tartışmada din, bilim, felsefe gibi birbirlerine tamamen zıt bakış açıları olan çeşitli taraflar bulunuyor. Konu insan varlığı açısından büyük önem taşıdığı için kişiler bu konuda sıklıkla duygusal bir havaya bürünüyorlar. İlk nedenleri olmayan olaylar olabilir mi? İngiliz filozof Bertrand Russel'a göre nedensiz olaylar olabilir. Russel'ın Reverend Copleston'la dünyanın kökeni üzerine yaptığı ünlü tartışmasında Copleston her şeyin bir sebebi olması gerektiğini söyleyip, buradan akıl yürüterek dünyanın da bir sebebi olması gerektiğini ve bu sebebin en nihayetinde Tanrı olduğu sonucuna varıyor. Copleston şöyle soruyor: "Öyleyse Lord Russel, sizin genel fikrinize göre dünyanın sebebini sorgulamak dahi uygunsuzdur öyle mi?" Russel şöyle cevaplıyor: "Evet benim düşüncem budur." Böylece bütünüyle zıt görüşe sahip iki kişi uzlaşmayı reddediyor ve tartışma çıkmaz bir sokağa giriyor.

Ancak ilginçtir, kuantum bilgi teorisiyle birlikte bu binyıllık determinizm karşısında rastlantısallık sorunsalı değişik bir dönemece giriyor. Bu sorunsal hem içinde bulunduğumuz gerçekliği anlamamız adına, hem de kişisel hususlar açısından önem arzediyor. Bu sorunsalın çözümüyle birlikte, bizim evrenimiz gibi düzenli ve yapısal bir evrende gerçekten özgür eylem var mı sorusunun cevabı da başka bir boyut kazanacak. Eğer her şeye hükmeden gerçeklik yasaları varsa, eylemlerimiz dahi onlar tarafından belirlenir. Böylece "özgür

irade" denen insani unsura hiç yer kalmaz. Hissiyatımız özgür iradenin bizi canlı olmayan maddeden (ve hayvanlardan) ayırt eden insani bir unsur olduğunu söyler ve yine bu özgür iradeyi bilincimizin temeli olarak da görürüz.

Batı'da yaşayan insanlar olarak pek çoğumuz determinizmin gerçekliğe tam anlamıyla hâkim olamayacağını düşünürüz, çünkü her ne kadar anlamıyla ilgili tartışmalar yaşansa da özgür irademiz olduğuna bir şekilde eminiz. Tartışmanın yüzü suyu hürmetine özgür iradeyi tanımlayalım ve insanların daha önceki olaylar (ki hem rastlantısal hem de deterministöğeler taşırlar) tarafından empoze edilmemiş bir davranımla eylemlerini kontrol edebilme kapasiteleridir diyelim. Öyleyse gerçekten özgür iradeye sahibiz dediğimiz zaman, gerçekliğin rastlantısal bir elemanı olduğu fikrine de bir anlamda kapı aralamak durumunda kalırız (gerçekliğin tüm elemanları elbette rastlantısal olamaz, çünkü bu özgür iradenin rolünü her anlamda dışlamış olur).

Ancak yine oldukça dolambaçlı bir soru doğuyor, çünkü iki olası cevabımız da –"evet özgür irademiz vardır ya da hayır özgür irademiz yoktur"– bizi her şekilde bir çelişkiye götürüyor. Diyelim ki "evet özgür irademiz vardır" cevabını verdik. Bu önermenin geçerliliğini ispat edeceğiz? Öyle şekilde hareket edeceksiniz ki davranışınız hiçbir şey tarafından ön belirlenmemiş olacak. Ama yaptığınız her şey halihazırda başka bir şey tarafından ön belirlenirken bu nasıl mümkün olabilir? Biraz daha ayrıntılı değerlendirme yapmak adına karakterinizin dışına çıkmayı seçtiğinizi söyleyelim. Örneğin içe dönük bir kişiliğiniz var ve sokakta gördüğünüz bir yabancıyla bir sohbete girmeye karar verdiniz. Ancak o alışılageldik doğal eğilimlerinize zıt şekilde hareket etme kararı kendi içinde ön belirlenmiş görünüyor. Çünkü özgür iradenizi ispatlamak adına karakterinizin dışına çıkarak davranmak da sizin

belirlediğiniz bir şey oldu. Belki de bu vakada özgür iradeniz olduğunu ispatlamaya çalışırken, belki de hiç de öyle bir şeye sahip olmadığınızı ispatlayıverdiniz. Burada duygularınız, sizi en nihayetinde karakterinizin dışında davranmaya mecbur eden bir sonuca götüren bazı dış faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Eğer böyleyse, yapmaya çalıştığınız tek şey determinist bir şekilde determinizmle savaşa girmektir ki bu da tanım gereği determinist bir süreçtir!

Özgür iradenin sergilenmesiyle ilgili önemli zorluk bizi belki de ona sahip olmadığımızı postulat etmeye götürüyor. Ancak bu sonuç insan psikolojisinin tüm yönleriyle zıt gibi duruyor. Kim, iyilik adına yaptığım bir şey yok diyebilir? Yaptığım her şey genlerim, tarihim, ailem, toplumsal hiyerarşi ya da evrenin geri kalanı tarafından ön belirlenmiyor mu? Daha da kötüsü hepimiz, insanları yaptıkları iyi şeyler için ödüllendirip, kötü şeyler için cezalandırma eğilimi gösteriyoruz. Eğer gerçekten de insanların özgür iradeleri yoksa tüm bunlar bir yanlış anlaşılmadan ibaret olmaz mı? Bir insan yaptığı şeyi özgür iradeyle davranarak yapmadıysa onu cezalandırmak nasıl mümkün olur? Tüm ahlaki ve hukuki düzenimiz bu özgür irade yanılsamasına mı dayanıyor? Özgür iradenin neden gerekli olduğuna dair mantıklı bir açıklama olmasa da tüm bunlarda sanki ters giden bir şeyler varmış gibi geliyor.

Ünlü biyolog Thomas Henry Huxley özgür iradeye sahip olduğumuzu ispatlamanın hiçbir yolu bulunmadığını şairane bir şekilde şöyle ifade etti: "Vahşi hayvanların, haz almadan yiyen, acı çekmeden ağlayan, hiçbir şey arzulamayan, hiçbir şey bilmeyen ve sadece akıllılık taklidi yapan kuklaların bir üst türünden gayri bir şey olmadıklarını iddia edecek ne tür bir kanıtımız var?"

İşin aslı özgür irade, gerçeklikte birbirine tam zıt uçlardaymış gibi görünen rastlantısallık ve determinizm arasında bir

yerlerdedir. Ne saf rastlantısallığın ne de saf determinizmin özgür iradeye kapısını açmayacağı gayet açık ve nettir. Eğer dünya tamamen rastlantısal olsaydı ne olacağını hiçbir şekilde kontrol edemezdik, fakat dünya tamamen determinist olsaydı yine ne olacağını kontrol edemezdik çünkü her şey öngörülmüş olurdu. İşte bu yüzden sert bir kayayla sert bir zemin arasında sıkışıp kalmış durumdayız.

Peki gerçekliği tanımlama noktasında rastlantısallık ve determinizm birbirlerine gerçekten de taban tabana zıtlar mı? Birbirlerini aynı yapı içerisinde var olamayacak derecede dışlıyorlar mı? En son fizik modelimiz olan kuantum teorisi, ikisini bileştirmenin bir yolu olduğunu ortaya koymuştur. Her kuantum olayı temelinde rastlantısaldır, bununla birlikte büyük nesnelerin determinist bir şekilde davrandıklarını görüyoruz. Peki bu nasıl mümkün oluyor?

Cevap babında şöyle bir giriş yapalım. Bazen pek çok rastlantısal şeyi birleştirdiğimizde daha kestirilebilir bir sonuç ortaya çıkabilir. Bu ilk başta paradoksal görülebilir (pek çok rastlantısal şeyin sonuçta daha da rastlantısal bir şey vermesi gerekmiyor mu?) ancak illaki böyle olmak zorunda da değildir.

Bir demir parayı 100 kez havaya attığınızı düşünün. Tüm sonuçlar son derece belirsizdir ve bu yüzden sonucu kestirmekte zorluk çekersiniz. Tahmin başarınız %50'den fazla olamaz ki bu yalnızca rastlantısal bir tahmin demektir. Gelin şimdi tek tek sonuçlar üzerine bahse girmek yerine 100 atış sonundaki toplam tura ve yazı sayısı üzerine bahse girelim. Bu çok daha kolaydır çünkü demir para düzgün şekilde düştüğünde %50 tura ve %50 yazı beklersiniz. Bu yüzden tek tek atışlar rastlantısal olsa da bütüne baktığımızda kestirilebilir bir yapı ortaya çıkar.

Biz fizikçiler bu durumla sürekli olarak karşılaşırız. Bir

mıknatıstaki her bir atom bir mini-mıknatıs olarak düşünülebilir fakat davranışı son derece delibozuktur. Tek bir atomu hizaya koymak için güçlü bir dışsal etki uygulamadığımız takdirde, manyetik eksenini kestirmek imkânsızdır. Ancak, bu dışsal etki olmasa dahi tüm bu rastlantısal dizilimli atomlar hep beraber açıkça belirli kuzey-güney yönleri olan bir mıknatıs üretebilirler. Sonuç olarak rastlantısal bir olaydan deterministik bir olay doğabilir. Buradan hareketle şu çıkarımı yaparız. Mikroskobik düzeydeki rastlantısallık her zaman makroskobik düzeye geçmek durumunda değildir. Her ne kadar doğayı tanımlamak için en doğru yol kuantum mekaniği ise de, büyük nesnelerin dünyası (günlük hayatımızda insanlar için daha önemlidirler) tamamen deterministtir. Bu da gösteriyor ki dünya mikroskobik düzeyde rastlantısal da olsa, makroskobik seviyede hâlâ özgür irade toktur.

Peki rastlantısal olmak tam anlamıyla nedir? Bir demir parayı atıp sonucu (tura ya da yazı) gözlemlemeyi rastlantısal bir süreç olarak düşünürüz. Rastlantısaldır çünkü sonucu gözlemlemeden önce tura ya da yazı gelmesi ihtimalleri eşittir ve sonucu kestirmek son derece zordur. Peki bu attığımız demir para hakkındaki her şeyi biliyorsak ne olacak? Bu bilgi, paranın ağırlığı, tam olarak nasıl fırlatıldığı ve etrafını saran havanın tüm ilgili nitelikleri olabilir. Bu bilgilere sahip olduğumuz durumda Newton yasası bize demir parayı her atışımızda sonucu kestirebileceğimizi söylüyor. Böyle olunca da klasik fizik temelinde rastlantısallık yüzeysel kalıyor. Tüm bilgiye sahip olduğumuz anda ortada temel bir rastlantısallık falan kalmıyor.

Rastlantısallığı ve determinizmi kendine özgü şekilde harmanlayan kuantum fiziği bu konudaki tartışmaya zenginlik katıyor. Kuantum fiziğinin aksine klasik fizikteki belirsizlik temelden gelen bir belirsizlik değildir, sadece belirli gerçekler-

le ilgili bilgi eksikliğinden doğar. George Boole bu konuyu açıkça şöyle ifade ediyor: "Olasılık, kısmi (bölümsel) bilgi üzerine yapılanan beklentidir. Bir olayın oluşumunu etkileyen tüm şartlarla ilgili mükemmel bir malumat (irfan), beklentiyi kesinliğe çevirebilir ve olasılıklar teorisine ne açık bir kapı ne de bir gereksinim bırakır." Ancak kuantum fiziğinde bu ifadenin pek de geçerliliği yoktur. Kuantum teorisinin en temel ve en tanımlayıcı niteliklerinden biri şudur: Bir sistem hakkındaki tüm bilgiye sahip olsak da sonuç hâlâ olasılıksal olabilir. Kuantum teorisine göre gerçeklik, sadece görünüşte değil (ki burada bazı bilgileri gözden kaçırıyor da olabiliriz), özünde rastlantısal olabilir.

Demir parayı havaya fırlatmaya karşılık olabilecek kuantum mekaniksel bir örnek verelim. Daha önce söylediğimiz gibi ışık parçacığı olan fotonun bir demet bölücüyle karşılaştığını imgeleyelim. Demet bölücünün, üstünde belirli bir gümüş kaplama bulunan bir ayna olduğunu ve bu yolla fotonun yansıma ya da geçme olasılığını ayarlayabildiğimizi hatırlayalım. Diyelim ki bu olasılıklar eşit ve böylece düzgün bir demir paranın tam olarak dengine sahibiz.

Havaya atılan bir demir paranın tura ya da yazı olarak düşebilmesi gibi, demet bölücüye çarpan bir foton da bölücüden geçebilir ya da yansıyabilir. Deney sırasında yapılan tüm gözlemler demet bölücü deneyinin tamamen rastlantısal işlediğini gösteriyor. Demet bölücüye gönderilen bir fotonun sonrasında izleyeceği yolu tahmin etmenin hiçbir yolu yoktur. Yansıma ve geçiş eşit şekilde olasıdır ve rastlantısal olarak oluşur.

Ancak şimdi demir para ve foton arasında bir ayrım yapmak istiyorum. Demir paranın davranışı rastlantısaldır. Temelinde olmasa da kestirilemez olması bakımından böyledir. Bir fotonun rastlantısal davranışıysa sadece kestirilemez olu-

şundan değil, özü itibariyle böyle oluşundan dolayıdır. Peki bu ne demek olabilir?

Demir paraya klasik fizik yasaları hükmeder. Demir para atışının en başındaki koşulları, yani hız ve açıyı tam olarak bilirsek prensipte sonucu tam olarak kestirebiliriz. Ancak sonucu hesaplamak çok uzun zamanımızı, belki de yıllarımızı alabilir. Sonuç olarak demir para dinamiğini tamamen deterministik koşullar yönetir ve sonuç alabilmek adına prensipte bu koşulların çözümlemelerini yapabiliriz. Yani demir para atışı sadece görünüşte rastlantısaldır. Gerçekte tamamen deterministtir ancak kestirimi güçtür.

Şimdi de foton ve demet bölücünün durumuna bakalım. Burada karşımıza çıkan dengeler hem kuantum hem de deterministtir. Kuantum mekaniği kendini yalnızca tasarlanmış ya da tasarlanmamış (çevre) ölçümler yoluyla gösterir. Sistem bu iki yoldan herhangi biriyle alt üst edilmemişse, bizi son derece açık ve iyi tanımlanmış deterministik bir bakış açısına götürebilir. Schrödinger hesaplaması bu durumu tanımlıyor. Hesaplama bize demet bölücüyle karşılaşan fotonun hem geçtiğini hem de yansıtıldığını gösteriyor. Evet aynen böyle söyledim! İki olasılık da gerçeklikte oluşuyor ve foton aynı anda iki yerde bulunuyor. Foton hem geçip gitmiş olarak demet bölücünün arkasında hem de yansımış olarak demet bölücünün önünde var oluyor. Demir para atışıyla ilgili durumun aksine, bu sonuca ulaşmak için gereken kuantum hesaplamalarını çözmek son derece basittir. Ancak nihai sonuç yine paradoksal görünüyor!

Peki rastlantısallığa ne oldu? O artık içeriye arka kapıdan giriyor. Fotonun nerede olduğunu kontrol etmek istediğimizi, yani planlanmış bir ölçüm gerçekleştirmek istediğimizi düşünün. Demet bölücünün önüne ve ardına fotonun varlığını ya da yokluğunu kaydedecek detektörler koyuyoruz. Diyelim ki

detektör bir ses sistemine bağlı ve olayın olduğunu saptadığında bir klik çıkaracak. Gerçek deneylerde ne oluyor biliyor musunuz? Detektörler rastgele klikliyor.

Hangi denemede hangi detektörün klikleyeceğini söylemenin hiçbir yolu yok. Burada özbeöz bir rastlantısallık var ve durum demir para atışındaki kestirilemezlik gibi bir şeyden ibaret de değil. Peki neden? Ölçüm öncesinde fotonun her iki tarafta da olduğunu söyleyecek denklemin, foton detektör tarafından saptandığında ne olup bittiğini bize gösteren başka bir determinist yasa tarafından desteklenmediğini nereden bileceğiz?

İşte bu yüzden "demir para atışı tarzı" rastlantısallık aşağıda anlatacaklarımızdan farklıdır. İlk demet bölücü sonrasında fotonu ölçmek yerine, başka bir demet bölücü yerleştirdiğimizi düşünelim. Peki bu durumda ne olur? Fotonun davranışı klasik olsaydı iki demet bölücüde de determinist davranım gösterir ancak sonucun kestirilebilmesi daha zor olurdu. Bundan dolayı fotonun ikinci demet bölücüde de rastlantısal sonuçlar vermesini bekleriz. Foton sürecin yarı zamanında ikinci demet bölücünün ardında, yarı zamandaysa önünde olmalıdır.

Ancak laboratuvardaki havalar aynı telden çalmıyor. Gerçek bir deneyde foton gayet determinist bir şekilde ikinci demet bölücünün ardında kalıyor. Sonuçta burada iki rastlantısal kuantum süreci bir şekilde denge sağlayıp determinist bir şeye meydan veriyorlar. Bu klasik düzlemde kesinlikle olamayacak bir şeydir. Düzgün bir demir parayı iki kez fırlattığınızı ve her ikisinde de her daim tura geldiğini düşünün. Ama bir kere fırlattığınızda bazen turalar bazen de yazılar geliyor. Elbette bu asla olamaz. Ancak foton mevzuunda durum aynen böyledir. Bu yüzden fotonun davranışında hiçbir klasik sistemde olmayan farklı bir şey olduğuna inanıyoruz.

Peki ne öğrendik? Tüm elementer kuantumsal olaylar te-

melinde rastlantısaldır. Ama bu demek değildir ki bu rastlantısal olaylar üzerine kurulacak bir gerçeklik mutlaka rastlantısal olacak. Rastlantısallığın ve determinizmin bir arada var olabileceklerini ve dahası determinizmin rastlantısal köklerden doğabileceğini gördük. Bu da bize gerçekliğin kökeniyle ilgili bazı kavrayışlar kazandırıyor.

Rastlantısallığın ve determinizmin nasıl baş başa verip iş gördüklerini ve çarpıcı bir sonuç çıkardıklarını görebileceğimiz bir kuantum protokolüne bakalım. *Star Trek*'i[52] ve ışınlanma (teleportasyon) odasını düşünün. Işınlanmanın mümkün olduğuna gerçekten inanan biri var mı? Hayır mı? Artık inansanız iyi olur. A noktasında konumlanmış bir nesnenin cismaniliğinin kaybettirilip, uzak bir B noktasında aynı nesne halinde yeniden oluşturulmasına ışınlanma denir. Pekâlâ, kuantum ışınlanmanın ufak bir farkı olduğunu kabul ediyorum. Biz tüm nesneyi ışınlamıyoruz, sadece onun kuantum bilgisini A parçacığından B parçacığına ışınlıyoruz fakat olay ilkesel olarak aynı (sonuçta bu kitap bilgi bitlerinden başka bir şey olmadığımızı iddia ediyor).

Kuantum parçacıkları birbirlerinden hiçbir şekilde ayırt edilemedikleri için de bu "gerçek anlamda" ışınlanma demek oluyor. Demek istediğim şey şu: Tüm elektronlar özdeş niteliklere (kütle, enerji yükü) sahiptir ve onları ayıran tek şey dönüleridir. Şimdi, iki elektronun diğer tüm nitelikleri aynıysa ve bir elektron dönüsünü diğerine kodlamayı başarırsak bunu iki elektron arasındaki başarılı bir kuantum bilgi transferi olarak düşünebiliriz. Diğer bir deyişle ikinci elektron diğerinin özdeş bir kopyası haline gelir ve şimdi ikisi birbirinden ayırt edilemez bir haldedir. Protonlar, atomlar vs. gibi tüm parçacıklar bu şekildedir.

52 Bizde *Uzay Yolu* adıyla yayınlanan televizyon dizisi.

Işınlanmayı gerçekleştirmenin bir yolu (ve *The Fly* gibi bilim kurgu filmlerinde gösterilen yolun aynısı) önce o nesnenin tüm niteliklerini öğrenmek ve bu bilgiyi nesnenin yeniden yaratılacağı B konumuna klasik bir dize data[53] olarak göndermektir.

Bu plandaki tek sorun şudur. Eğer tek bir elektronumuz varsa ve dönüsünü bilmiyorsak onu belirleyemeyiz çünkü sonuçta bu bir ölçüm yapmamızı gerektirir, dolayısıyla da dönüdeki orijinal kuantum bilgisini her durumda tahrip ederiz. Görünen o ki kuantum mekaniği yasaları (sistemin halini peşin peşin bilmediğimiz sürece) tek bir kuantum sisteminin ışınlanmasını engelliyor.

Ama yeni haberler var! Sistemi ışınlamak için bulunduğu hali bilmemize gerek olmadığı da ortaya çıktı. Yapmamız gereken tek şey bir kuantum bilgisayarında var olan aynı tip karşılıklı bilgiyi kullanmaktır. Bu da A ve B konumları arasındaki süper-korelasyonu (teknik adı kuantum dolanıklığıdır[54]) sağlıyor, böylece kuantum bilgisi transfer edilebiliyor. Işınlanmayı işleten kuantum ölçümü hâlâ rastlantısal olsa da A'dan B'ye bir tür harici klasik bilgi göndermek suretiyle bunun üstesinden gelinebilir. A'da yapılan güncel ölçüm sonucu B'ye nakledilebilir ve bu standart bir telefon hattı üzerinde bile yapılabilir. Işınlanma bittikten sonra A'daki parçacığın orijinal hali bozulur. Bu da bize kuantum seviyesinde ışınlanmanın nasıl gerçekleştirilebileceğini, üstelik tüm o kuantuma içkin rastlantısallığa rağmen gösteriyor.

Bugün yalnızca tek tek atomları ve fotonları yalnızca birkaç metre uzağa ışınlayabiliyoruz. Sonuç olarak bu temel ilke, ilk olarak Viyana Üniversitesi'nde Anton Zeilinger'in araş-

53 İng: String data.
54 İng: Quantum Entanglement.

tırma grubu ve ondan bağımsız olarak Roma Üniversitesi'nde Francesco de Martini'nin grubu tarafından yapılan deneylerle doğrulandı ancak bu ilkenin daha büyük nesneleri ve nihayetinde insanları ışınlamak için kullanılıp kullanılamayacağı hâlâ bir muammadır. İşin içine insanlar girdiğinde işler daha da karmaşık hale geliyor. Eğer vücudunuzdaki her atomu özüne uygun olarak ışınlarsak bu muhakkak sizi ışınladığımız anlamına mı gelir? Diğer bir söyleyişle, oradaki vücut siz misinizdir? Bu sorunun cevabı hakkında hiçbir fikrimiz yok!

Şimdi daha genel anlamda konuşursak, yüzeysel (klasik) rastlantısallığı gerçek (kuantum) rastlantısallıktan ayırt edebilmek adına farklılığı nicelemek ve dolayısıyla da daha yalın bir ölçüm yapmamız gerekiyor. İşin ilginci böyle bir ölçüm var ve Shannon entropisiyle yakından bağlantılı olmasına rağmen farklı bir motivasyon taşıyor. Rastlantısallığın ölçümünü yaparken Shannon entropisinin neden tek başına pek o kadar da kullanışlı olmayabileceğini anlamak adına aşağıdaki örneğe bakalım.

Demir para atışı daha önce belirttiğimiz gibi tipik bir rastlantısallık örneğidir ve bir dizi tura (T) ve yazı (Y) meydana getirir. Diyelim 10 atış sonrasında, genellikle TTYTYYYTYT gibi bir şeyler bekleriz ancak TTTTTTTTTT gibi bir dizi görmeyi daha az umarız. İlk dizi sanki demir para gibi daha rastlantısal bir kaynaktan çıkmış olmalı diye düşünürüz. İkinci diziyse rastlantısal olmak için biraz fazla düzenlidir. Ayrıca ikincisinin daha az olası olduğunu da düşünebiliriz. Fakat bu bir hatadır.

Dolayısıyla burada yine bir problemimiz var. Paranın tek tarafının gelmesi bağlamında turalar ve yazılar eşit olasılık taşıdığı için, tura ve yazıların her tür dizilimi diğer başka dizilimler kadar olasıdır (piyango oynayan insanlar şu gerçeği takdir edeceklerdir: 1, 2, 3, 4, 5, 6 dizilimi 2, 3, 17, 30, 41, 45 di-

zilimi kadar olasıdır). Yarısı tura yarısı yazı olan bir dizilimin, tamamı tura olan bir dizilimden daha olası olduğu doğrudur. Ama bunun sebebi yalnızca bu tür dizilerin sayısının daha fazla olmasıdır: Sadece turaların olduğu bir dizilim yalnızca bir taneyken, %50-50 olasılıkla dağılmış turaların ve yazıların olduğu (TTTTTYYYYY ya da TYTYTYTYTY ya da YYYTTYYTTT ve benzeri) bin civarında dizi vardır.

Her bir rastlantısal dizi bir diğeriyle aynı şekilde olasılık taşır. Fakat biz hala, TTYTYYYTYT dizisinin rastlantısal göründüğüne ve TTTTTTTTTT dizisinin çok muntazam olduğuna inanırız. İki dizi de eşit şekilde olası olduğu ya da olası olmadığı için (olasılık ikisi için de binde birdir), olabilirlikleri bu temel farklılığı kapsayamıyor gibi görünüyor. İşte Shannon entropisi rastlantısallığı nicelemekte bu yüzden başarısız oluyor, çünkü olasılıklara dayanıyor.

Rastlantısallığı niceleme probleminin ölçümle çözümü, en nihayetinde 1950'lerin sonlarına doğru Rus matematikçi Andrey Kolmogorov'dan geldi. Çözümü bazı açılardan son derece işletimsel ya da daha doğrusu fizikseldi. Rastlantısallık çözümü için sunduğu argüman şudur: Bir dizinin ne denli rastlantısal olduğu o diziyi üretmenin ne denli zor olduğuna bağlıdır. Peki neyle üretmenin? Cevap: Bir bilgisayarla.

Bir dizi tura ve yazı meydana getirmek için bilgisayarınıza bir program yazdığınızı varsayın. Tamamı tura olan bir dizi (TTTTTTTTTT) üretmek sadece bir komut gerektirir: "10 kez tura yaz". Ancak TYTTTYYTYT gibi bir dizi bu kadar kolay üretilemez. Aslında programın ihtiyacı olan şey muhtemelen "TYTTTYYTYT yaz" komutu olacaktır. Sonuç olarak dizimiz rastlantısal görünen bir diziyse, bunu üretecek olan program en az dizinin kendisi kadar uzundur (bizim durumumuzda "bilgisayarınızı başlatın, diziyi yazın, programı sonlandırın" gibi ek komutlar da gerektiği için daha da uzundur ancak di-

ze[55] de uzun olunca marjinal bir fark doğacaktır). Bununla birlikte bir şey muntazam olduğunda program daha kısa olabilir. Düzenli şeylerin kısa programlarla nasıl sıkıştırılabileceğini gösteren niceleme, Kolmogorov karmaşıklığı olarak bilinir.

Bu tanımlamada bazı problemler söz konusu mu? Eğer dikkatli olmazsak farklı bilgisayarlar bir şeyin rastlantısallığı hakkında farklı farklı ölçümler vereceğe benziyor. Neyse hemen aklımıza Turing'in evrensel bilgisayar kavramı, yani bir başka bilgisayarın simülasyonunu yapabilen bilgisayar getiriyoruz. Kolmogorov bu tür durumlardan kaçınmak için Kolmogorov karmaşıklığını hesaplarken bu bilgisayarı kullanmayı önerdi.

Kolmogorov'un fikirlerinin izinden giderek, klasik yüzeysel rastlantısallıkla kuantum temelli rastlantısallığın farkını yeniden inceleyebiliriz. Demir para atışındaki dizinin TTTYYYTYYTT gelmesinin rastlantısal olduğunu çünkü onu üretecek daha kısa bir program yazılamayacağını söyledik. Bu demir para atışını tamamen kapsayan tüm bilgiye (örneğin, paranın tura ve yazı yüzleri arasındaki göreli ağırlık farkının, rotasyon hızının, atıldığı yüksekliğin vs. bilgisine) sahip olduğumuzu varsayalım. İncelikli bir hassasiyetle saptanmış tüm bu bilgiyle her atışta bu diziyi verebilecek programı yazabilirdik. İşte bu yüzden klasik fizik tamamıyla deterministtir. Klasik fizikte bu programın uzunluğu, demir para atışlarının kendisinden (çok fazla sayıda atış için) kesinlikle daha kısa olmalıdır. Ancak kuantumsal durumda işler böyle yürümeyebilir. Detektördeki foton kliklerinin (yani bizim kuantumsal demir para atışımızın) dizisini kestirme problemi düşünüldüğünde diziyi tanımlamak için kullanılan program, di-

55 İng: String.

ziyi yalnızca her bir deneyin fiilen yapılabilmesi sonucunda tanımlayabilir. Sonuç olarak program en azından, tanımlamaya çalıştığı detektör klikleri dizisiyle aynı uzunlukta olmalıdır. Burada anayola çıkmak için kestirme bir yol yoktur!

Tam da bu noktada ilgi çekici bir ihtimal beliriyor. Gerçekliğin kökenlerini kavrama yolunda Kolmogorov mantığına müracaat edilebilir mi? Gerçekliği tanımlayan yasalarımızın esasen bu olduğunu, yani evrenin dinamiklerini kavrama ve karmaşıklığını indirgeme yolunda bir çaba olduğunu söyleyebilir miyiz? Bu anlamda bu yasaların kendileri (fizikte, biyolojide, ekonomide, sosyolojideki yasalar) gerçekliğin özyapısını tanımlayan kısa programlar olarak görülebilir. Örneğin fizikte her bir deneyi her seferinde tekrar tekrar yapmaktansa (yani tüm programı yazmak) her bir deneyin sonucunu kestirmek için sadece zamanın fizik yasalarını kullanan kısaltılmış bir program yazabiliriz. Buradan hareketle bu son program, tüm deneyleri tek tek çalıştıran programdan önemli ölçüde daha etkin olacaktır. Şimdi diyebiliriz ki biz bilim insanlarının görevi gerçekliği temsil eden en kısa programı bulmaktır. Öyleyse karmaşıklığı indirgeme sürecinin bilimsel olarak nasıl yürüdüğünü incelemeye başlayalım.

Bu işten kazanımımızın ne olacağını anlayabilmek için öncelikle bilimin mantığını, yani özelinde fiziği kavramamız gerekiyor. Felsefeci Karl Popper'in hayatını adadığı şey de buydu. Onun bilimi kavrama biçimi, kitabımın son bölümünde gerçekliği anlama yolunda kilit unsur olacak. Şimdi bu kavrayışı özetleyelim.

Popper 1920'li yıllarda gençlik yıllarını yaşarken fizik bilimi de zirve noktasına yaklaşıyordu. Ancak şimdi sosyal bilimler olarak bilinen başka bazı disiplinler de ortaya çıkmaya başlamıştı. Sigmund Freud (psikanaliziyle) psikolojide çığır açıyor, sosyoloji ve siyasi bilimler de yavaş yavaş doğuyordu. Bazı

insanlar sosyal bilimleri "ılıman" bilimler olarak tanımlamaktan (fizik gibi çetin ceviz, olgu-temelli bilimlerin tersine) memnuniyet duyarken Popper'in tümden ilgilendiği şey, bilim adının psikanaliz gibi şeylerle ilintilendirilebilmesiydi.

Onun esas amacı bir şeye en başında bilim denebilmesi için bir kriter tasarlamaktı. Şimdi Popper'in önemli fikirlerini inceleyelim. Fiziksel bir teoriyi yanlışlamak kolaydır (bunun için sonuçları teoriyle apaçık çelişen bir deney yapmak yeterlidir, ayrıca Popper'in zamanında yapılan kuantum deneyleri klasik fiziği yanlışlayan mükemmel örneklerdir) ancak psikolojik bir teoriyi yanlışlamak o kadar da kolay değildir.

Annesi sevgi vermediği için kendine güveni olmadığını söyleyen biriyle kim bilir kaç kez karşılaştınız? Bunun yanı sıra anneleri sevgisiz olduğu için kendilerine daha çok güvenmeleri gerektiğini hissettiklerini söyleyen ve güvenli olan kişilerle de karşılaştınız. İşte problem de burada başlıyor. "Annesi onu sevmedi" teorisinin açıklığa kavuşturmak zorunda olduğu bir dolu şey var gibi görünüyor. Hatta o kadar ki, kendine güveni olan birisi ve olmayan birisi gibi birbirine taban tabana zıt iki olguyu gerekçelendirmek için kullanılabiliyor. Bu da böyle bir teorinin asla yanlışlanamayacağı ya da pratikte yanlış olduğunun gösterilemeyeceği anlamını taşıyor.

Meşhur on sekizinci yüzyıl İskoç felsefecisi David Hume bazı iddiaların yanlışlanamaz oluşu konusuyla bayağı bir cebelleşmiştir (onun zamanında psikanaliz yoktu ancak zihnini felsefe ve din meseleleri meşgul ediyordu). Hume konuyu şöyle ifade ediyor. Dünyada gördüğümüz beyaz kuğuların sayısı ne denli çok olursa olsun, bu bizi "bütün kuğular beyazdır" argümanının ispatına götüremez. Tek bir siyah kuğunun siması dahi bu argümanı yıkmaya yeter. İşte bilimde de durum aynen böyledir. Newton fiziği 200 yıl boyunca test edildi ve her seferinde doğrulandı. Fakat on dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğ-

ru yapılan –kara cisim ışınımı formundaki– bir deney onu yıkmaya yetti. Kara cisim bu anlamda fiziğin kara kuğusu oldu ve bütün fizik klasik fiziğe itaat eder hipotezini yıktı. Elbette bu durum klasik fiziğin lalettayin kullanım dışı kaldığı anlamına gelmiyor ama artık klasik fiziğin üzerine kara kuğusunu da koyan yeni bir teorinin (yani kuantum mekaniğinin) gerekliliğini doğuruyor. Ve bu teori sanki "Nehirdeki tüm kuğular beyazdır" gibi yanlışlanabilen kesin bir ifadenin aksine, "Tanrı gizemli yollarla çalışır" gibisinden bir ifade gibi duruyor. Yani bunun tersini ispat etmek için neyi ne kadar inkâr edebilirsiniz?[56]

Öyleyse bilimden gelen herhangi bir şeyden nasıl tam olarak emin olabiliriz? Elbette olamayız. Ancak bu durum Popper için bir problem teşkil etmekten ziyade, bilimin kilit noktasıydı! Yani bir teori, onu yanlışlamanın bir yolu varsa özgün olabiliyordu! Eğer herhangi bir koşulda teorinizin tersini ispat edemiyorsanız (yani onu bertaraf edecek bir deney yapamıyorsanız), bu teori ilgili olduğu bilgi anlamında geçersizdir çünkü onu asla test edemezsiniz. Popper böylece bilimin görünürde olumsuz olan bir niteliğini (her teorinin yanlışlanabileceği olgusunu) onun en temel ve en gerekli niteliği haline dönüştürdü. Yüzyıllarca süren çürütmeler, yanlışlamalar (yani aksini ispat etmeler) ve teorilerin (yani varsayımların) geliştirilmesiyle bilim bugünkü gelişimine ulaşmış oldu.

Şimdi gelin Popper mantığını bilgi teorisi bağlamında yorumlama olasılığını araştıralım. Bir teori birkaç deneyle yapılandırıldıktan sonra, geçerliliği konusunda kendimizi daha bir emin hissetmeye başlarız (eninde sonunda genellikle yanlışlığımız kanıtlansa da bu güveni hissettiğimiz bir evre vardır). Bu yüzden de teorinin bir sonraki testi geçebilmesi

56 İng: How the bleep are you going to disprove that? / Yazar burada "What the bleep do we know?" isimli 2004 yapımı filme gönderme yapıyor.

olasılığını daha bir yüksek düşünürüz. Eğer teori testi geçerse, bilgi ilkeleri onun düşük-bilgili bir olay olduğunu söyleyecektir. Çünkü bir olayın olasılığı ne denli yüksekse, olay gerçekleştiğinde o denli az şaşırırız.

Olaya dair güvenimiz arttıkça, teorinin yanlışlanabilmesine atfettiğimiz olasılık da giderek küçülür. Kuantum mekaniğini test eden son araştırmaların çoğunda fizikçiler kuantum mekaniğinin kendilerini yüzüstü bırakmayacağını düşündüler. İşte sonuç başarısızlık olduğunda yaşadıkları büyük şokun da sebebi bu oldu. Yani genelde bir şeyin yanlışlanması, aynı şeyin doğrulanmasından hem duygusal hem de fiziksel anlamda daha fazla bilgi taşır.

Fizikteki her bilgi Popper'in "varsayımlar ve çürütmeler" diye adlandırdığı bilimsel yöntemden gelir. Fakat bu yöntemin kendisi de bir bilgi süreci formu olarak görülebilir. Bu da bizi dikkatli ve iyi tanımlanmış bir Occam usturası ifadesine götürür. Bilimsel teorileri, evrensel bir bilgisayarda işleyen programlar olarak düşünebiliriz, böylece modellemeye çalıştığımız deneyin sonucu da çıktımız (bilgisayar hesabının sonundaki veri) olur. Eğer her çeşit gözlemimizi birkaç denkleme sıkıştırabilirsek teorimizin kuvvetli olduğunu söyleriz. Bir şeyi ne kadar fazla sıkıştırabilirsek, onu o kadar iyi anlayabiliriz. Çünkü sonrasında birkaç yasa vasıtasıyla tüm gerçekliği üretebiliriz.

Occam usturası, ortada bir şeyi açıklayan çok fazla teori varsa, en kısa olanını doğru olarak seçmeliyiz diyor. Tüm olası gözlemleri içeren en kısa üretimi yapan doğanın bu ürünü, çok uzun bir tanıma tercih edilmiş oluyor. Daha önce bir Tanrı kanıtlamasıyla karşımıza çıkan Leibniz'den alıntı yapalım: "Tanrı hipotezde en basit, fenomende en zengin olanı seçti." Bu ifade, evrendeki bilginin birkaç basit yasaya sıkıştırılabileceğini göstermektedir.

Ancak şimdi ilginç bir problemle karşı karşıya kalıyoruz. Öne sürdüğümüz her teori sonlu olacak, yani belirli (ve ümit edelim ki küçük) kurallar dizisi içerecek. Bu durumsa teoriye sıkıştırılamayacak pek çok deney sonucu olduğu anlamına gelecek (bu durumu tüm yönleriyle ilk fark eden kişi Amerikalı matematikçi Gregory Chaitin'dir). Bu da bu sonuçların ciddi ciddi rastlantısal olduğunu gösterecek. Leibniz bunun da farkındaydı: "Bir kural aşırı derecede karmaşık olduğu zaman, ona bağlı olan şey de rastlantısal olarak geçip gider." Bu durum Kolmogorov'un rastlantısallığa bakış açısını kısa ve öz biçimde mükemmelen açıklıyor. Şöyle ki: "Kural, üretmesi gereken sonuç kadar komplike olduğunda, sonuç da karmaşık ya da diğer bir söyleyişle, rastlantısal olarak görülmelidir."

Bu mantığın izinden gidildiğinde kuantum rastlantısallık iki ilkeyle özetlenebilir. Bu bakış açısını ilk olarak İtalyan fizikçi Carlo Rovelli ortaya koymuştur. İlkelerden birincisi klasik bilgiden alıntılanmıştı ve kısaca en temel kuantum sisteminin tek bir bilgi bitinden fazlasını içeremeyeceğini ifade ediyordu. Bir bit en küçük bilgi birimi olduğuna göre bu ifade de son derece anlaşılabilirdir. İkinci ilkeyse her zaman yeni bilgiler elde edebileceğimiz gerçeğine vurgu yapar. Bu ilke ilkiyle bileştirildiğinde kuantum olaylarında gördüğümüz rastlantısallığı kapsar. Görünüşte tüm bilgiye sahip olduğumuz zaman, yeni bir bilgi elde edebilmemiz ancak bu yeni bilginin rastlantısal olması koşuluyla mümkün olur. Bu tıpkı sonlu sayıda aksiyomun sadece sonlu sayıda sonuçlara götüreceği gerçeğinin yeniden ifade edilişine benziyor. Eğer durum buysa, sonuçlarına hayran kalacağımızı şimdiden söyleyebiliriz.

Kuantum teorisindeki rastlantısallığı, onun natamamlığı (noksanlığı, kusurluluğu) dolayımıyla, bir başka deyişle daha detaylı temel bir determinist teorimiz olmaması bakımından ele alan bir düşünce okulu hâlâ var. Bununla birlikte fizikteki

bilgilerimizin gelişimine, bilgiyi sıkıştırma anlamında baktığımızda, bu rastlantısallığın evrende içkin olduğuna ve sonuç itibariyle gerçekliğin her türlü tanımının bir parçası olması gerektiği sonucuna varabiliriz. Rastlantısallık öylece vardır, çünkü bizim gerçeklik tanımımız daima (yapısal olarak) sonludur ve daha fazla bilgi gerektiren her şey rastlantısalmış gibi tezahür edecektir (çünkü bizim tanımımız onu kestirememektedir).

Bu da demek oluyor ki kuantum fiziğindeki rastlantısallık asla beklenmedik bir şey değildir ve aslında bu mantığa göre son derece özseldir. Üstelik kuantum teorisini geçersiz kılacak herhangi bir teori –varsa tabii–, yine bazı rastlantısal nitelikler barındırmak zorundadır. Meselenin ta özüne inen sonuç da budur. Fiziğin mütemadiyen evrildiği düşünüldüğünde, temelden bir rastlantısallığın oluşu, her türlü yeni teoriye de ciddi setler çekmektedir.

Popper yanlış olma potansiyelini bilimsel irfanın (knowledge) kilit unsuru olarak tanımlar. Ancak bu tanımlama, diğer formlardaki ter türlü bilgi (felsefi, psikolojik, dinî, tarihî, sanatsal, gerisini siz getirin) için de doğru olmalıdır. Faydalı bilimsel irfan bu bakımdan bahis ya da borsa işlemlerindeki finansal kazançla aynıdır. Risk yoksa kazanacak bir şey de yoktur, yani bedava yemek yoktur! Yalnızca bilimsel irfan ya da ekonomik kazanç Bu yoldan yürüyerek ilerlemez, tanımlayabileceğiniz her tür bağlamdaki her tür faydalı bilgi de daima bu yolla gelişir.

Bunun içindir ki bilim yalnızca, gelecekteki sonuçlar üzerine oynanan bir tür bahistir. Büyük Alman filozofu Immanuel Kant, evren hakkındaki belirsizliğimizi riskli girişimler yoluyla temsil etme fikrini daha 1781 gibi uzak bir tarihte *Critique of Pure Reason* adlı eserinde ileri sürdü. Kant, teorilerimizin geçerliliği hususundaki pratik düşünceyle, bahse girmeyi denk tuttu. Yani logaritmik değerlendirme kuralı (ki

Shannon teorisinin tam da merkezindedir) bir anlamda bu felsefi önermenin pratik bir uygulamasıdır.

Rastlantısallık ve determinizm arasındaki bu karşılıklı etkileşim aslında kitabımızın tamamına yayılmaktadır. Popper için rastlantısallık bilimdeki varsayımlar yoluyla karşımıza çıkarken; determinizm belirli deneyler yoluyla bu varsayımları reddederken kendini gösteriyor. Popper'e göre dünya hakkındaki bilgiyi sağlamlaştırmanın tek yolu da bu, yani irfan. Ancak faydalı bilgi, gerçekliğin diğer elemanları hususunda da tamamen aynı şekilde tezahür ediyor.

Örneğin biyolojik bilginin evrimi sürecini düşünün. Biyologlar yaşayan sistemlerdeki bilgi işleme sürecinin evrim yoluyla yaratıldığını düşünüyorlar. Evrimin iki bileşeni var; birisi genetik koddaki rastlantısal mutasyon, diğeri bu yeni niteliğin çevre tarafından deterministik doğal seleksiyona uğratılması. Bu çerçeveden bakıldığında biyolojik bilginin evrimi, her çeşit faydalı bilimsel irfanın yaratımıyla benzer şekilde ortaya çıkıyor.

Aynı benzerlik, esas amacın piyasa davranışını anlamak ve tahmin etmek olduğu ekonomi dalı için de geçerlidir. Söz konusu olan ister ekonomik politika ister basit bir yatırım kararı olsun, herhangi bir varsayımsal strateji piyasa sahnesinde sonuna kadar kalacak ve böylelikle de ya yanlışlanacak ya da doğrulanacaktır.

Yine sosyal bilimlerin de başka bir bilgi işleme süreci olduğunu konuştuk ve bir toplumdaki gelişme düzeyine onun bilgi işleme kapasitesi bağlamında bakabileceğimiz sonucunu çıkardık. Bir toplumun elemanlarının birbirleriyle iletişimi noktasındaki kolektif düzeyde rastlantısallığı, toplumların başına gelen çeşitli faz geçişleri dolayımıyla da deterministik özellikleri gözlemledik. Bu anlamda varsayımsal ve çürütmeci yöntemleri daha bir enerjiyle uygulayan toplumların daha hızlı gelişim göstermeleri de elbette tesadüf değildir.

Fizikte rastlantısallığın, ısı kavramı konusunda kritik önem taşıdığını ve aslında tüm evrenin maksimal entropi (maksimal rastlantısallık ya da düzensizlik) haline doğru evrildiğini biliyoruz. Bu sürecin determinist yönü, faydalı işi seçip çıkarabilmek adına düzenler tasarlamak ve bunun için var olan bilgiyi kullanmaktır. Tüm termodinamik bilimi, düzensizlikten düzen çıkarmak için uğraşan Maxwell'in maksatlı şeytanlarıyla, doğal rastlantısal süreçler arasındaki meydan muharebesinden ibarettir.

Nereye baksak altında bilgi bitleri olduğunu görüyoruz. Dahası bu bilgi, bağlam ne olursa olsun rastlantısallık ve determinizm yoluyla daima aynı evrim sürecine itaat ediyor. Öyleyse tüm bilgiyi ve etrafımızdaki her şey, rastlantısallık ve determinizmin bir tür bileşimiyle türemiş olabilir mi?

Anahtar noktalar

- Gerçekliğin tüm yönlerinin temelinde rastlantısallık ve determinizm vardır.
- Bu konu Antik Yunan'dan beri bizi oyalayan asırlık özgür irade problemine eklemlenir.
- Bir dizi varsayım ve çürütme yoluyla ilim ve irfanın nasıl evrildiğini görebiliriz.
- Kuantum mekaniği özbeöz rastlantısallığa (yani en temel seviyede öncelikli bir nedeni olmayan olaylara) kapı açar.
- Kolmogorov rastlantısallığın özünü şöyle kavrıyor: Rastlantısal bir süreçten gelen sonuçların toplamı o süreci gerçekten işletmekten başka herhangi bir yolla üretilemez (yani tadına bakmadan anlayamıyoruz!).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Kitabın ilk bölümünde bilginin bir dizi günlük süreçlerde nasıl temel teşkil ettiğini gördük. Hayatın biyolojik çoğalması için kritik önemde olan bilginin, bir borsa portföyü oluştururken ya da rastlantısal enerjiden faydalı iş çıkarırken de aynı şekilde önemli olduğunu anladık.

İkinci bölümdeyse bize görünenden çok daha fazla bilgi olduğunu öğrendik. Temel fizik modelimiz klasik bakış açısından kuantum modeline dönerken, bilgi teorimizin de buna uyum sağladığını ve daha öncekinden çok daha temel bir kavrayış sağladığını gördük. Kuantum bilgisinin esas avantajı, bir kuantum bitinin aynı zamanda farklı hallerde olabilmesidir. Bu oluş plağının diğer tarafındaysa özüne içkin rastlantısallık seviyesi bulunur. Faydalı bir iş meydana çıkarmak için kuantum bilgisini kullanmak istediğimizde bazen gözümüz korkar ve caymak isteyebiliriz ancak kendi avantajımıza kullanabileceğimiz kimi fırsatlarla da karşılaşırız (rastlantısallık sayesinde gizli telefon dinlemelerinin engellendiği kuantum kriptografiyi hatırlayın).

Daha da önemlisi giderek karmaşıklaşan ya da kalitesi artan her tür bilgi hususunda (örneğin evren hakkında daha fazla bilgi elde ederken) ana unsuru gerçek anlamdaki rast-

lantısal eleman oluşturur. Bu rastlantısal eleman vasıtasıyla gelen yeni bilgiyi devamlı olarak takip etmemiz ve sonrasında neyin yanlış ya da gereksiz olduğunu determinist bir biçimde elimine eden bir süreci de yaşamamız gerekir. Gerekli bilgiyi bu determinist eleman sayesinde biçimlendirebiliriz.

Kitabın ilk iki bölümünde görünürde ilgisiz gibi duran fikirleri bilgi işleme sürecinin ortak dili yoluyla birleştirdik ancak temel soru hâlâ yerli yerinde duruyor: Tüm bu bilgi nereden geliyor? Bu soru bizi daha kitabın en başında sorduğumuz soruya, yani *creatio ex nihilo* problemine götürüyor.

Kitabın ilk iki bölümünde sunulan tüm teoriler, alanında uzman kişiler tarafından sonrasında değerlendirilmiş ve kabul edilmiş olgular olmaları bağlamında şüphe götürmüyor. Kitabın üçüncü ve son ana bölümünde rotayı keşfedilmemiş ve daha spekülatif alanlara çeviriyoruz.

11

Denizdeki Kum Hesabı: İyi de Bu Bilgi Nereden Geliyor?

Bölüm 9'da evrensel Turing makinesini tartıştık ve kendisine yeterli zaman ve enerji verildiğinde başka makinelerin simülasyonunu yapabildiğini konuştuk. Buzdolabınızın mikroişlemcisinin Microsoft Windows programını yürütmesi için programlanabileceğini söyledik ve sonrasında Moore mantığını tanımlayarak, bilgisayarların giderek daha da hızlanıp küçüldüklerinden bahsettik. İşte bu yüzden de tek bir atomun bugün bir PC'nin yapabildiği her şeyin bütün simülasyonunu yapabileceği günlerin geleceği sonucuna vardık.

Bu noktadan sonra hayranlıklara sürükleyen bir olasılığa, evrenimizin her bir küçük yapıtaşının yeterli zaman ve enerji verildiğinde bir diğerinin simülasyonunu yapabilme ihtimalini konuşmaya başlıyoruz. Sonuç olarak evren bir dolu küçük evrensel kuantum bilgisayarından oluşmuştur. Peki en büyük kuantum bilgisayarımız ne denli kuvvetli olabilir? Bu bilgisayarın taşıyabileceği total bilgi miktarı nedir?

Bakış açımız gerçeklikteki her şeyin bilgiden yapıldığı yönünde olduğu için totaldeki bilgi miktarını ve bu totalin arttığını ya da azaldığını bilmek işimize yarardı. İkinci yasa evrendeki fiziksel entropinin daima arttığını zaten söylüyor. Fizik-

sel entropi Shannon bilgisiyle aynı formda olduğu için, ikinci yasa bize bilgi içeriğinin yalnızca artabileceğini söylüyor. Peki bu ne demek? Eğer hedefimizin evreni tümden anlamak olduğunu düşünürsek bitiş noktasının devamlı olarak bizden uzağa hareket ettiğini de kabul etmek durumundayız.

Gerçekliğimizi, topladığımız bilgilerle yapılandırdığımız yasa ve ilkelerle tanımlıyoruz. Şöyle ki kuantum mekaniği, klasik fiziğin bize anlattığından çok daha farklı bir gerçeklik sunar. Taş devrindeki mağara adamlarının gerçeklik algısı ve olanaklı olana dair bakış açıları, Newton'un aynı şeylerden ne anladığından oldukça farklıydı. Gerçekliğimizi yaratmak için evrenden gelen bilgiyi böyle böyle işleriz. Evreni büyük bir balon olarak düşünelim, içinde de daha küçük bir balon, yani gerçekliğimiz olsun. Gerçekliğimiz evren hakkındaki ilim irfanımıza dayanıyor (evreni yasalarla tanımlıyoruz). Evrene dair kavrayışımız varsayımlar, çürütmeler, yasalar ve ilkelerimizin evrimi sayesinde geliştikçe küçük balon büyük balonu doldurmak üzere genişliyor. Peki evrenin bizi şaşırtmaya devam etme derecesi, gerçekliğimizi evirebileceğimiz orandan daha mı büyüktür? Bir başka ifadeyle gün gelip de tüm kâinatı anlayacak mıyız?

Burada Popper mantığının yardımını istiyoruz. Gerçekliği kavrayışımızın tam da kökündeki varsayımlar ve çürütmeler mantığı bize bu soruya cevap veremeyeceğimizi söylüyor. Belki de sadece evrenin bizi artık şaşırtmayacağını, elimizdeki teorileri geçersiz kılacak mevcut bir teori olamayacağını bildiğimiz gün, tüm evreni kavrayabileceğimizden emin olabiliriz. Peki evrendeki yeni bir olayın bir sürpriz yapmayacağını ve gerçekliğe bakış açımızı değiştirmemize sebep olmayacağını nereden biliyoruz? Cevap: Bilemiyoruz. Yani bir gün şaşırıp şaşırmayacağımızı bilmiyoruz. Bu tam da nihai bilinmeyenin bilinemezliğidir. Her şeyi bilip bilemeyeceğimizi as-

la bilemiyor olsak da, bu durum, mevcut kavrayışımızla bileceğimiz ne kadar şey olduğunu öğrenmek ve bilmekten bizi alıkoyamaz. Peki evrende ne kadar bilgi var? Böyle absürt bir öngörüyle nereden başlayabiliriz? Gariptir ki bu konuya kafa yoranlar ilk bizler değiliz, benden önceki daha büyük akiller de bu soruyla boğuştular.

Tarihin en güçlü akil adamlarından biri Sirakuzalı Arşimet'tir (tahmini MÖ 287-212). Arşimet astronomiye, matematiğe, mühendisliğe ve felsefeye büyük katkılar yaptı. Sadece teorik anlamda değil pratik olarak da zamanının en zekilerindendi. Marifetli fikirleri nedeniyle devlette çalıştırılıyor, özellikle zor günlerde ondan başka danışılacak kimse olmuyordu. Sirakuza'ya savaş gemilerinin saldırdığı anlatılan bir hikâye vardır. Hikâyeye göre Arşimet, güneş enerjisine odaklanmış ve ışığı büyük kavisli aynalarla düşman gemilerine yansıtalım diyerek gemilerin rıhtıma varamadan yakılmasını sağlamıştır. Halk bu olayın Arşimet'in şehri sayısız kez kurtardığı vakalardan sadece biri olduğunu söylemiştir.

Bilim uğraşısından ödün vermeyen Arşimet onuruyla öldü. Bir Roma askeri tarafından katledilmeden önce son sözlerinin "çemberlerime dokunma" olduğu söylenir. Kum üzerine çizdiği çemberlerle hesap yaparken gelen asker aslında onu mahkemeye çağırmak üzere oradadır ancak Arşimet'in askere olan kayıtsızlığı ve tamamen işine odaklanmış olması olağanüstü yaşamının trajik bir şekilde sonlanmasına neden olur.

Arşimet Sirakuza monarşisinden Kral II. Gelos'un emri üzerine bir araştırma yaptı. Bu çalışması dünya tarihindeki bilinen ilk araştırma makalesidir. Arşimet'in görevi evreni doldurabilecek kum tanelerinin sayısını hesaplamaktı. Elbette sıradan bir adama verilebilecek bir görev değildi. Kral II. Gelos'un bunu yaptırma sebebi ve sonraki sohbetlerinde eğlence olsun diye kullanıp kullanmadığı da belli değildir.

O zamanlarda bilinen en küçük şey kumdu, bu yüzden de problemlerin ifadesinde kum hacminin kullanılması gayet doğaldır. Sisamlı Aristarkus'un (tahmini MÖ 310-230) güneş merkezli modelini referans alan Arşimet, evrenin küre biçiminde olduğunu ve evrenin çapının, güneşin etrafında dönen yerkürenin uydusunun çapına oranının, güneşin etrafında dönen yerkürenin uydusunun çapının, yerkürenin çapına oranına denk olduğunu uslamladı. Gördüğünüz gibi bu hesaplama her yiğidin harcı değildir. Arşimet bir üst sınır elde etmek için verilerinin daha yüksek değerlerini kullandı.

Öncelikle, böylesine epik miktarları sayılarla hesaplayabilmek için ilkin Yunan sayı sistemini genişletmesi gerekti. O güne değin böyle büyük sayılar için kullanılan kelimeler yoktu ancak Arşimet'in buna ihtiyacı vardı. Arşimet şimdi 10.000 dediğimiz sayıyı temsil etmesi için "çok büyük sayı"[57] kelimesini üretti ve myriad kere myriad diyerek de 100 milyona ulaşarak (10.000x10.000) devamını getirdi. Ancak esas zorluk, böyle sınırlı bir astronomi bilgisiyle (bizim standartlarımıza göre sınırlı) evrenin büyüklüğü hakkında hipotezler üretmekteydi. Arşimet'in uslamlaması aşağıdadır:

1 Yerkürenin çevre uzunluğu 300 myriad stadyadan[58] fazla olamaz (kabaca 50.000 km eder ki gerçek çevre uzunluğuna çok yakındır).
2 Ay yerküreden daha büyük olamaz (gerçekte çok daha küçüktür) ve güneş aydan 30 kattan daha fazla büyük olamaz (son derece düşük değerler verilen bir tahmindir).*
3 Yerküreden göründüğü üzere güneşin açısal çapı, yaklaşık yarım dereceden daha büyüktür (bu doğrudur ve pek de kötü bir tahmin sayılmaz).

57 İng: Myriad.
58 Eski Yunan uygarlıklarında kullanılan bir ölçü birimi; 1 stadya 185 metredir.

Bu hipotezlerden yola çıkan Arşimet evrenin çapını hesapladı. Buna göre evrenin çapı 10 üzeri 14 stadyadan daha fazla olamazdı (modern terimlerle iki ışık yılı) ve bu evrenin içini doldurmak için 10 üzeri 63 (1'i takip eden 63 tane 0) tane kum tanesi gerekiyordu. Bu sayının daha fazla olamayacağını da söyledi. Arşimet'in hesabına göre evrendeki her noktayı bir bit sayarsak –ki bu bağlamda bir kum tanesini ya içerir ya da içermez– Arşimet'e göre bitlerin sayısı da 2 üzeri 10 üzeri 63, yani 2 üzeri 10'un 63. kuvveti olacaktır. Bu olağanüstü büyük bir sayıdır. Arşimet'in bu ilk adımından tam 2 milenyum sonra türetilen denk bir sayıyla bu büyük sayıyı daha sonra karşılaştıracağız.

Arşimet'in dünyayı kavrayışı elbette bizim şu anki dünya kavrayışımızla aynı seviyede olamazdı. Esas konu, bu başlangıçtan iki bin yıl sonra ne ölçüde doğruluk oranı yakalayabildiğimizdir.

Popper yöntemi son iki bin yıldır, gerçekliğe dair daha iyi bir kestirim yapabilmek adına yorulmak bilmeden çalışıyor. Bilim adamları gerçekliğin elemanlarını en kısa ve en basit şekilde tanımlayabilmek için varsayımlar ve çürütmeler yapıyor, gerçeklik modellerini (varsayımlar ve çürütmeler) test edebilmek için gözlem ve deneyler sürdürüyorlar. Modeller çürütülüp, yeni bilgi ya da kavrayışlar gün ışığına çıktıkça, bir yana bırakılan eski modellerin küllerinden doğan yenileri onların yerini alıyor. Şimdiye değin gerçekliğin biyolojik, bilişimsel, sosyal ve ekonomik yönlerini inceledik. Birbirinden görünüşte farklı olan bu disiplinlerin bilgi dolayımıyla gayet doğal bir biçimde nasıl bir araya getirileceğini gördük. Bu kitabın en özünde tartışıldığı üzere bilgi işleme sürecinin doğası tamamen fizik kurallarına bağlıdır. Yani evrendeki bilgi miktarını hesaplamak istiyorsak bugüne kadar gerçekliği en doğru kavrama modelimiz olan fiziğe başvurmamız gayet doğal olacak.

Bugün gerçekliği en iyi anlama yollarımız kuantum fiziği ve kütle çekimdir (yerçekimi). Elbette bu gerçeklik konusuna akla uygun iddialarla yaklaşan başka bazı teoriler de bulunuyor (biyolojik, sosyal, ekonomik benzeri) ve Calvino'nun masasında onlara da yer ayırdık. Ancak kuantum teorisi ve yerçekiminin halihazırdaki en temel tanımlamalar olduğu genel olarak kabul görmüştür. Kolmogorov'un bilginin içeriğine veyahut bir mesajın karmaşıklığına, söz konusu içeriği ya da karmaşıklığı tanımlamak için kullanılan en kısa program bağlamında yaklaşması gibi, biz de bugün gerçekliğin bilgi içeriğine, –gerçekliği tanımlamak için en kısa programlarımız olan– kuantum fiziği ve kütle çekim yönünden yaklaşmaktayız.

Bölüm 10'da kuantum teorisinin bilgi bağlamında nasıl anlaşılabileceğini gördük, peki yerçekimini de aynı şekilde anlayabilir miyiz?

Yerçekimi kuantum teorisinden oldukça farklıdır. Kuantum teorinin etkileri mikroskobik ve makroskobik alanlarda hissedilebilirken (söz konusu olan büyük nesnelerse etkiler zayıflar demiştik) yerçekimi başka şekilde çalışır: Yerçekimi büyük kütleler (örneğin gezegenler) üzerinde hâkimken, mikroskobik kütleler üzerinde daha az etkilidir. Şu an ne denli yakın olurlarsa olsunlar iki atom arasındaki kütle çekimini saptayabilen bir deney sonucu yoktur.

Bu iki teori tayfın iki uzak ucunda yer alıyor gibi görünebilir ancak dallı budaklı bir ilişki halindedir. Kuantum fiziğini yerçekimiyle bağlayan tek bir birleştirici teori üretebilmek uzun zamanlardır fiziğin hem kutsal amacı hem de "kanayan yaralarından" biri olmuştur. Şimdi ben burada şaka yollu da olsa (son derece ihtilaflı bir meseleyi açımlayarak) yerçekiminin kuantum bilgisinin bir sonucu olarak açıklanabileceğini öne sürmekteyim. Bu iddia bugüne kadar kuantum bilgisi-

nin gerçekliğin temel zeminini sunduğunu savlayan en güçlü iddianame olacak.

Einstein'ın genel rölativitesi sayesinde kütle çekim konusuna modern bakışımız onu zaman ve uzayda bükülme olarak görmek yönünde şekillendi. Günlük dilde evrensel çekim yasası dediğimizde daha bir anlaşılır geliyor. Yani yukarıya fırlattığımız top aşağıya düşer dediğimizde hepimiz anlıyoruz. Ancak Einstein'ın bakış açısı çok daha genel ve hatasız bir kütle çekim tanımlaması sunuyor. Bu bakış açısına göre, zaman ve uzay ayrılamaz ve birbirlerine bağlı olarak bükülürler. Yatağınızın uzay-zamanı temsil ettiğini düşünerek durumu imgeleyelim. Yatağınızın üzerine koyduğunuz nesneler yüzeyi çukurlaştırıp izler oluştururlar. Yatağın üzerine bir futbol topu koyduğunuzda hafif bir çukur izi oluşurken, kendiniz uzanınca çarşaftaki çukur izi daha da büyük olur. Yatağın üzerinde otururken yakınınıza topu koyarsanız, top, sizin etkinizle sizin oluşturduğunuz çukura doğru çekilecektir. Aynı şekilde tüm kütleler uzay-zamanda birbirlerini çekerler çünkü uzay-zaman çarşafında çukur izler yaratırlar. Ki bunlar, sonrasında çoğalıp birbirlerini etkileyeceklerdir. Yani uzay-zaman bükülmesini (ya da üzerine oturduğunuz yatağın bükülmesini) kavramak, yerçekiminin etkilerini tanımlamak yolunda kilit unsurdur.

Uzay-zamandaki her türlü bükülme, uzaklık ve zaman aralıklarının, uzay-zamanı büken nesnenin kütlesine zorunlu olarak bağımlı oldukları anlamına gelir. Örneğin, yerküreye yaklaşan bir insan için zaman, yerküreden uzaklaşan bir insana (bu insanın başka bir masif nesneye yakın olmadığı varsayılarak) göre daha hızlı akar, çünkü yerküreye yakın olan insan yerkürenin çekim kuvvetinden daha fazla etkilenir. Bir başka deyişle yerküreye yakın olunduğunda uzay-zaman bükülümü daha fazladır. Yerçekimini kuantum bilgisi yönünden

açıklamak istiyorsak ortaya yeni bir soru çıkar: Bükülümün geometrisiyle, bilgi (ya da entropi) kavramı arasındaki bağlantı nedir? İlginçtir, cevabımızı bir önceki bölümde rastladığımız acayip nitelikte, yani kuantum karşılıklı bilgisinde buluyoruz.

Kitabın çoğu bölümünde entropi kavramına zaten değindik. Entropi, bir mesajın ya da bir sistemin bilgi içeriğiyle aynı anlama gelir. Bir sistemin entropisi ne kadar yüksekse, taşıdığı bilgi de o kadar fazla olur. Kitabın ilk bölümünde entropiyi pek çok farklı amaç doğrultusunda kullandık. Entropi, bir kanalın kapasitesini, her türlü fiziksel sistemin düzensizliğini, risk alarak girilen bir bahisten elde edilen kârı ve sosyal ara bağlantıları niceledi. İlerleyen tartışmanın maksadı bakımından entropiyi bundan böyle, fiziksel sistemlerdeki düzensizliği niceleyen fiziksel entropi olarak anlamalıyız.

Belirli (malum) bir sistemin içindeki belirsizlikle –ki entropi ile ölçülür– sistemin boyutu arasında ilginç bir ilişki vardır. Belirli bir sınırla çevrelenmiş bir nesneye baktığımızı varsayalım. Bu nesnenin ne derece karmaşık olmasını bekleriz? Doğal olarak gelen cevap, nesnenin entropisi, nesnenin boyutuna ve bilhassa hacmine bağlıdır, şeklinde olurdu. Diyelim ki bir molekül bir topun içine dizilmiş bir milyon atom içeriyor. Eğer her atomla ilintili belirli bir entropi varsa, total entropinin atomların toplam sayısı çarpı her bir atomun entropisi olmasını bekleriz. Bundan dolayı da total entropi moleküler hacimle orantılı olacaktır.

İlginç bir şekilde, düşük sıcaklıklar (evrenin şu anki durumu gibi) söz konusuyken entropi genellikle nesnenin hacmiyle değil, alanıyla (yüzölçümüyle) orantılı olmaktadır (temel matematikten biliyoruz ki herhangi bir nesnenin alanı hacminden daima daha küçük olmak zorundadır). Top şeklindeki bir molekülü düşünürseniz, hacmini oluşturan şeyler

topun yüzeyindeki atomlar ve içerisindeki atomlardır. Bundan dolayı da bu top şeklindeki molekülün maksimum entropisini arıyorsak, her bir atomun tüm belirsizliğe bağımsız bir şekilde katkıda bulunduğunu düşündüğümüzde, entropinin toptaki atomların toplamına (yani hacme) oranlı olduğunu söyleyebilirdik. Ancak hayli ilginçtir, aslında hiçbir entropi, yüzeydeki atomların toplam sayısına oranlı olmuyor (özellikle daha küçük oranlarda).

Peki öyleyse mantıklı görünen ile kuantum teorisinin bize söyledikleri arasındaki bu fark nereden kaynaklanıyor? Bunu anlamak için kuantum teorisine yeniden bakmalı ve özellikle kuantum karşılıklı bilgisinin doğasını incelemeliyiz. Kuantum karşılıklı bilgisinin farklı cisim arasındaki bir tür süper-korelasyon (bağlılaşım) olduğunu ve bu süper-korelasyonun kuantum bilgi işleme süreciyle klasik bilgi işleme süreci arasındaki farka temel teşkil ettiğini hatırlayalım (kuantum hesaplamada olduğu üzere).

Bütün evreni ikiye böldüğümüzü varsayalım, bir yanda yukarıdaki molekül gibi sistem bulunuyor, diğer yanda da geri kalan şeyler yani molekülün dışındaki her şey var. Şimdi, molekülle geri kalan kısım arasındaki kuantum karşılıklı bilgisi, molekülün entropisine eşittir. Ancak kuantum karşılıklı bilgisi hiçbir suretle molekülün bir niteliği değildir, ondan ortaklaşa bir nitelik olarak, örneğin; nesneler arasındaki kuantum korelasyonu, gibi bahsedilebilir. Bu bağlamda molekül ve evrenin geri kalanı arasında ortaklaşa bir nitelik olmaktadır. Bu yüzden de mantıksal olarak bu ikisi arasındaki kuantum karşılıklı bilgisinin derecesi, ikisine de ortak olan bir şeye oranlı olmalıdır ki bu durumda bu ortak şey sınır yani molekülün yüzey alanıdır!

Vardığımız sonuç derece özseldir. Burada entropiyi bir cismin bilgi içeriği olarak düşünmekteyiz. Bu bilgi içeriğinin

cismin içinde değil de, yüzey alanında uzanıyor oluşu, en kibar şekliyle söylersek afallatıyor! Bu da demek oluyor ki herhangi bir cismin bilgi içeriği cismin içinde yerleşik değildir ve fakat cismin, evrenin geri kalanıyla bağlantı halinde olan bağıntısal (rölatif) bir niteliğidir.

Buradan ayrıca önemli başka bir sonuca daha varıyoruz. Aslında daha sonra keşfedeceğimiz bir başka olasılık desek daha doğru olur. Bu formalizm içerisinde, evrenin kendisi sıfır bilgi içeriğine sahipken, alt kümelerinin birtakım bilgilere sahip olması da bütünüyle olanaklıdır. Evren, evrenin dışındaki hiçbir şeyle bağıntıda değildir (tanım gereği). Ancak evrenin birbirleriyle bağıntılı bazı bölümleri vardır. Evreni iki ya da daha çok farklı bölgeye ayırır ayırmaz (partisyon oluşturmak) bilgi üretmeye başlıyoruz, fakat bu bilgi bölgelerin boyutuna değil, ayrımın (partisyon) alanına denk oluyor. Ayırma, bölme ve sınıflandırma eylemlerinin kendileri zorunlu olarak bilgiyi artırır, çünkü bu süreçte bağlılaşımda olabilecek bölümlerin içinden geçip gidiyorsunuz.

Bu sonucu şöyle betimleyelim. Molekülün içindeki atomların evrendeki atomlara bir dizi şerit yoluyla bitişik olduğunu düşünelim. Evrenle bitiştiren bu şeritlerin sayısının limiti (sonuçta molekülün yüzey alanından geçirebileceğimiz şerit sayısının sonlu bir boyutu vardır), molekülün yüzey alanı (yüzölçümü) tarafından belirlenir. Molekül ve evren arasında paylaşılan bilgi, ikisini bağlayan şerit sayısına oranlı görülebilir. Bu da bize bilginin neden molekülün yüzey alanıyla ölçeklendirildiğinin mantıklı açıklamasını veriyor.

Fizikçi Leonard Susskind, entropi ve alan arasındaki ilişkiyi holografik ilke olarak adlandırmayı önerdi. Holografi bilindiği üzere optiğin bir parçasıdır ve üç boyutlu görüntülerin aslına sadık olarak fotoğrafik iki boyutlu filmlere kodlanması üzerine çalışır. Bu kodlama işi esasen, objenin lazer ışığıyla

aydınlatılması suretiyle yapılır. Işık objeden yansır ve yansıma fotoğrafik film üzerine kaydedilir. Sonrasında fotoğraf klişesi aydınlatıldığında objenin üç boyutlu imajı gerçek objenin önceden durduğu yerde belirir. Okuyucu bu fenomeni büyük olasılıkla çeşitli dergilerden, etiketlerden, oyuncaklardan ve bilimkurgu filmlerinden hatırlayacaktır.

Optik holografi Londra Imperial College laboratuvarlarında (bu laboratuvarlardan biri 40 sene sonra benim ofisim oldu) çalışan Denis Gabor tarafından 1960'lı yıllarda icat edildi. Gabor bu fikirleriyle 1971 yılında Nobel ödülünü kazandı (ilginçtir ki benim doğduğum yıl) ve holografiyi Maxwell şeytanının optik versiyonunu yapılandırmak için kullandı (doktoram sırasında araştırdığım konulardan biridir). Gabor'un keşfindeki sürprizli yan, iki boyutun, üç boyutlular hakkındaki tüm bilgiyi depolamaya yeteceğini göstermesiydi ki bu keşfiyle Nobel ödülünü layıkıyla aldı (üzgünüm, ne kadar düşünsem de bu konuda Gabor'la aramızda bir bağlantı kuramıyorum!).

İki boyutun kaydedildiğini görmek kolay da, üçüncü boyut nereden geliyor? Üç boyutlunun içindeki hologramı görmemizi sağlayan şey bu üçüncü boyuttur. Işığın göreli niteliğiyle ilgilidir ve girişim olarak adlandırılır. Deneysel düzeneğe geri dönelim. Işık içsel bir saat taşır ve bu saat ışık objeden yansıdığında, iki boyutlu holografik filme doğrudan çarpan ışığı engeller. Yani burada saatin zamanlamasının üçüncü boyut gibi hareket ettiği bir girişim örüntüsü oluşur. Yani bir holograma baktığınızda, iki boyutlu standart bir resmin yanı sıra, arkadan size doğru kısa aralarla yansıyan ışığı da görürsünüz. Bu da üç boyutlu bir resim algısı sağlar.

Susskind bilginin yüzey alanıyla hesaplanmasına şaşırmamak gerektiğini söylüyor ve hatta bu durumu bir ilke olarak saptamamızı öneriyor. Yani aslında bu ilke evrendeki her şey için (enerji taşıyan her şey için; ışık gibi, madde gibi) doğru

ve geçerli olmalı demek istiyor. Üstelik olgunun ardındaki ana nitelik kuantum karşılıklı bilgisidir ki biz şimdi bu bilgiyi objenin bir tarafındaki bir şeyle, diğer tarafındaki herhangi bir şey arasındaki varlık olarak görmekteyiz. Ve şimdi bu mantıktan yola çıkarak yerçekimini türetmek için tüm parçalara sahibiz.

Einstein'ın genel görelilik denklemi, dört boyutlu uzay-zamanın geometrik yapısı üzerindeki enerji-kütle etkisini tanımlar. John Wheeler'den alıntılayarak söylersek, Einstein'ın denkleminde madde, uzay-zamana nasıl bükülleceğini söyler ve uzay-zamansa (büküldüğünde), maddeye nasıl devinmesi gerektiğini öğretir (örneğin dünya güneşin etrafında döner çünkü güneş, uzay zamanı önemli ölçüde büker). Yerçekimini kapsayan enerji-bükülüm ilişkisi, kuantum bilgi teorisinden türetilebilir mi?

Ted Jacobson 1990'ların ortalarına doğru bu konuda zekice bir argüman ortaya attı ve yukarıdaki soruya evet cevabı verilebileceğini savundu. Şu an cevabı yeniden yaratabilmek adına bütün malzemeye sahibiz. Şimdiye kadar termodinamik entropinin, sistemin geometrisine nasıl oranlı olduğunu konuştuk. Termodinamikte gayet iyi bilinir ki bir sistemin entropisi, sistemin sıcaklığıyla çarpılınca o sistemin enerjisini verir. Bundan dolayı da daha büyük bir enerjiyi temsil eden daha büyük bir kütle (kütle-enerji denkliğine dayanarak) uzay-zamanda daha büyük bir bükülme anlamına gelecektir.

Entropi ve enerji arasındaki basit bir enerji korunum ifadesi, Einstein'ın kütleyi bükülümle bağıntılaştıran kütleçekim denklemi haline dönüşmektedir. Bu bağlamda entropi geometriyi kapsamaktadır. Buradan hareketle, termodinamiğe göre daha kütleli bir cisim daha büyük entropi üretmektedir. Ancak hemen yukarıda bahsettiğimiz holografik ilke doğrultusunda entropinin, kütleyi çevreleyen yüzey alanıyla da ilgili olduğu-

nu da gördük. Bu yüzden de cisim ne kadar büyük kütleli olursa, çevreleyen alanın çukur izi de o kadar büyük olacaktır.

Burada bir örnek vermek çok işe yarayacak. Kütle ya da hiçbir enerji olmayan uzay-zamanı düşünelim (yani boş evreni). Şimdi tam ortasına yansıttığımız bir ışık tabakasıyla (boş bir evrende bu ne demekse) evreni tam ortadan ikiye bölelim. Evren boş olduğu için bu ışığa etki eden hiçbir şey yoktur. Şimdi bir tarafa masif bir cisim (masif derken, büyük kütleye sahip bir cisimden bahsediyoruz) koyduğumuzu düşünelim. Termodinamik yasalarına göre bu durum entropiyi değiştirir. Yani holografik ilkelerden yola çıkarsak bu durum ışığın yolculuk yaptığı alanı etkiler, sonrasında ışık bükülmek durumunda kalır ve bu da işin içine geometrideki değişimi katar. Aslında bu genel görelilik durumunu ilk olarak 1919 yılında Arthur Eddington test etti. Bir yıldızın pozisyonundaki bariz değişimin, tam olarak Einstein'ın genel görelilik çalışmasındaki kestiriminin sonucuna uyduğunu doğruladı. Burada yıldızdan gelen ışık bize doğru seyir halindeyken güneşin kütle çekim kuvvetiyle bükülür ve böylece yıldız pozisyon değiştirmiş gibi görünür.

İlginçtir, aynı fikir kara delikler gibi büyük siyah cisimlerin saptanması için de kullanılabiliyor. Tanımı gereği kara olan ve hiç ışık yaymayan bir kara deliği nasıl görebilirsiniz? Ancak kara deliğin sahip olduğu önemli bir şey var: Büyük çekim kuvveti. İşte biz bu hakikati onu "görmek" için kullanırız. Kara deliği doğrudan gözlemleyemesek de, madde üzerindeki kütle çekimsel kuvvetini ve özellikle etrafındaki ışığı gözlemleyebiliriz. Bilhassa bir kara deliğin hemen ardında olan bir yıldızın ışığı, olağan şekilde dağılmaz ve son derece odaklıdır çünkü kara deliğin kütle çekim kuvvetine yakalanmıştır. Yerküreden baktığımızda, bazen bir yıldızın ışığının normale göre fazlaca yoğun olduğunu ve sonrasında normaldeki hafif ışık yoğunluğu seviyesine döndüğünü gözlemleriz. Bu yo-

ğunluk değişimi, yıldızın önünden bir kara deliğin geçiyor olmasıyla açıklanabilir. Bu etki teknik olarak kütleçekimsel merceklenme olarak adlandırılır.

Entropiyle ölçülen bilginin, artık hem kuantum mekaniğine hem de kütle çekime temel oluşturduğunu görüyoruz. Kuantum mekaniğinde bir sistemin entropisi sonludur ancak daima daha fazla entropi üretebiliriz (ki bu da rastlantısallık demektir). Kuantum entropisinin alana oranlı olduğu hakikati, enerjinin korunumlu olduğunu gösteren birinci yasayla (termodinamiğin birinci yasası) birleştirilebilir ve buradan kütle çekim denklemleri çıkarsanabilir. Kuantum fiziği ve kütle çekimin genelde bağdaşmaz gibi görülmeleri de ilginçtir. Ancak şimdi öne süreceğim argüman, bu ikisinin bağdaşmamak bir yana dursun, müthiş şekilde bağlantılı olduklarını savunacak (Jacobson'un makalesinin böylesine heyecan yaratmasının sebebi de budur).

Bu argümanın bazı açılardan spekülatif olduğunu bölüme giriş yaparken belirtmiştik. Ancak tüm bu tartışmalardan çıkarabileceğimiz sonuç, kütle çekimin bilgi işlem sürecinin yapısına pek de yeni bir şey eklemediğidir. Teorinin gereksindiği her şey kuantum prensiplerinin uygulanması vasıtasıyla zaten mevcuttur. Argümanın ayrıntıları doğru olmasa bile, kuantum bilgisinin nitelikleri –kütle çekimli ya da kütle çekimsiz– hâlâ aynıdır.

Şimdi bunu aklımızın bir köşesine yazalım ve (bildiğimiz) evrenin tümüne en fazla ne kadar bilgi sıkıştırılabilir sorusuna dönelim. Bilginin alana oranlı olduğunu zaten söyledik, ne derece oranlı olduğu da İsrailli fizikçi Jacob Bekenstein tarafından ölçüldü. Bekenstein bound (Bekenstein bağımı) olarak da bilinen bağıntısı basitçe şöyle ifade edilebilir: Bir sisteme yığılabilecek bit sayısı en fazla 10 üzeri 44 bilgi biti çarpı sistemin kilogramla ifade edilen kütlesi ile metreyle ifade edi-

len maksimum uzunluğudur (bu uzunluğun karesi sistemin alanıdır). Yine dikkat çekeceğimiz bir nokta da şudur. Bekenstein'in kara deliklerle ilgili çalışması, İngiliz fizikçi Stephen Hawking'in kara deliklerin göründükleri kadar kara olmadığı sonucunu çıkarmasına (bunca olan bitenden sonra pek de beklenmedik bir şey değil) sebep oldu. Kara delikler şimdi adına Hawking radyasyonu dediğimiz ve esas menşei kuantum olan radyasyonu yayar.

Herhangi bir cismin bilgi kadar mükemmel bir şeyi taşıma kapasitesini, sonsuz sayıdaki olası niteliklerinin arasından çekip çıkararak hesaplamak için yalnızca iki şeye ihtiyacımız var: cismin alanı ve kütlesi. Pratik bir uygulama yaparak kafamızın bilgi taşıma kapasitesini kolaycacık hesaplayalım. Ortalama bir kafanın çevre uzunluğu 20 cm ve ağırlığı 5 kilogramdır diyelim. Bu da tipik bir insan kafasının 10 üzeri 44 bilgi biti depolayabildiğini gösterir. Günümüzün en iyi bilgisayarları 10 üzeri 14 bilgi biti seviyesinde çalışıyorlar. Yani bir insan kafasının bilgi taşıma kapasitesine erişmek için daha 10 üzeri 30 bilgi bitine ihtiyacımız var!

Bizim şu anki görevimiz Bekenstein sınırını kullanarak evrendeki toplam bit sayısını hesaplamak. Zaten esas odak noktamız da buydu. Astronomlar, evrenin boyutunu ve ağırlığını kabaca 15 milyar ışık yılı çevre uzunluğu ve 10 üzeri 42 kilogram civarında bir kütle ağırlığı olarak ölçmüş durumdalar. (*Otostopçunun Galaksi Rehberi* filmindeki "42"[59] rakamıyla aynı olması da ironiktir). Bu bilgiyi Bekenstein formülüne uyumladığımızda evrenin kapasitesi 10 üzeri 100 bit dizge seviyesinde oluyor. Bu son derece büyük bir sayı olmakla birlikte nihayetinde sonludur (gerçi matematikçiler hâlâ sonsuz-

59 Filmdeki süper bilgisayarın, ünlü filozof Martin Heidegger'in "Varlık Nedir?" sorusuna verdiği cevap.

dan ziyade 0'a yakın olduğunu iddia edeceklerdir!). Arşimet'in de ölçümü sonucunda evrende 10 üzeri 63 kum tanesi olduğu kestirimini yaptığını hatırlayalım. Daha önceki gibi bir kum tanesini bir bilgi bitiyle benzeştirirsek, iki bin yıl önce yaşamış birisine göre evrenin bilgi taşıma kapasitesini iyi tutturmuş demektir!

Şimdi, evren bir kuantum bilgisayarıyla denk olduğuna göre, artık evrenimizin hızından söz etmeye geçebiliriz. Bekenstein sınırı sayesinde bunu hemen hesaplayalım. Evrenin yaşını 10 üzeri 17 saniye olarak alıp, böylece 10 üzeri 100 bit ürettiği gerçeğini de düşünürsek (ki son hesaplarımız böyle), bilgi işlem sürecinin total kapasitesinin 10 üzeri 90 civarında olduğunu söyleyebiliriz. Bunu modern bir bilgisayarla (örneğin işlemci kapasitesi saniyede 10 üzeri 10 bitten daha fazla olmayan vasat Pentium4'ünüz) karşılaştırdığımızda, evrenin simülasyonunu yapmak için 10 üzeri 80 bite daha ihtiyacımız olduğunu görebiliyoruz. Yani 10'un peşinden 80 sıfır daha getirmemiz gerekiyor. Bilgisayarlarımıza evreni kavrama konusunda güvenmek durumundaysak daha upuzun bir yolumuz var. İşte insan zihninin hayranlık uyandıran gücü!

Kıyaslamak için tayfın diğer tarafına bakalım. Burada atomlar ve atom çekirdekleri gibi küçük cisimler bulunuyor. Bekenstein'e göre bir hidrojen atomu dört milyon bit kodlayabilirken, bir proton sadece 40 bit kodlayabilir (çünkü atomun kendisinden çok daha küçüktür). Eğer yeterince kabiliyetli olsaydık (ki bunun çok çok uzağındayız), 1000 haneli bir sayıyı çarpanlarına ayırabilen tek bir hidrojen atomuyla bir kuantum hesaplaması yürütebilirdik. Günümüz bilgisayarlarıyla bunu yapmak aşırı derecede zordur.

Peki hesapladığımız bit sayılarının, evrendeki tüm bilgi bitlerinin toplamını verdiğinden nasıl emin olabiliriz? Popper'e bilim zaten evrendeki bitleri yasalara sıkıştıran bir ma-

kine olarak görülebilir ve bu yasalar da sonrasında gerçekliği üretmek için kullanılmaktadır. Peki yarın bir deneyde yaptığımız bir gözlemin, bilgi sıkıştırma sürecini değiştirmeyeceğini ve bize yeni bir yasa vermeyeceğini nereden bilebiliriz? Elbette, bilemeyiz. 200 yıl boyunca ayakta kalan, sonra tek bir deneyle çürütülen teorilere bilimsel süreçlerde çok sık rastlıyoruz. Tıpkı kuantum bilgisinin klasik bilginin yerini alması gibi, daha ilerideki bir zamanda, gerçekliğin bilinmeyen ya da şimdiye kadar tam olarak kavranamamış başka elemanları üzerinde temellenen ve yeni bir düzenle işleyen bir bilgi işleme süreci geliştirebiliriz.

Peki, varsayım ve çürütme yöntemlerini aşırı uçlara götürebilir miyiz? Final teorisinin ne olacağı konusunda en ufak bir kaygı hissetmeden, gerçeklik hakkında tutarlı bir bakış açısı sunabilir miyiz?

Anahtar noktalar

- Her sistemin entropisi o sistemin yüzey alanına oranlıdır. Bu olgu holografik ilke olarak bilinir ve kuantum karşılıklı bilgisinin sonucudur.
- Holografik ilkeyi kullanarak evrendeki bit sayısını hesaplayabileceğimiz gibi, kapsayabileceği temel bilgi işlem birimlerinin sayısını da hesaplayabiliriz.
- Ne ilginçtir ki, evrendeki kum tanelerinin sayısını hesaplamaya çalışan Arşimet de benzer bir hesabı 2500 yıl önce yaptı (ve tahmini de gerçeğe oldukça yakındı).
- Bir kuantum bilgisayarıyla denk tuttuğumuz evrenin gücü sonludur ancak şu an imgeleyebileceğimiz her şeyden ya da kullanıma sokabileceğimiz her türlü fikirden aşkındır.

12

Tümden Yıkım: Hiçlikten Çıkan Bir Şeyler

Bu kitabın yapılandırmayı denediği ana düşünce, gerçekliğin farklı yönlerine temel oluşturan bir tür bilgi işlem sürecinin yürümekte olduğudur. Bilgi teorisi, Shannon'ın belirli bir sorunsala (İki kullanıcı arasındaki iletişim kapasitesini nasıl maksimize edebiliriz?) getirdiği bir çözüm olarak sahneye çıkarak oldukça masum bir başlangıç yaptı. Shannon, ihtiyacımız olan şeyin yalnızca bir olayı bir olasılıkla ilişkilendirmek olduğunu gösterdi ve o olayın bilgi içeriğini nicelememize olanak sağlayan bir ölçek tanımladı. İlginçtir, Shannon'ın fikirlerinin yalınlığı ve sezgiselliği, pek çok başka probleme de başarıyla uygulanabilmelerini sağladı. Biyolojik bilgiyi Shannon teorisi vasıtasıyla zamanda bir iletişim (doğal seleksiyonun amacı geleceğin gen havuzunun üretilmesidir) olarak görebiliriz. Ancak bilgiyi optimize etmeye çalışanlar yalnızca iletişim ve biyoloji değildir. Fiziksel sistemler de entropinin maksimize olması için kendilerini organize ederler ve bu entropi Shannon bilgisiyle aynı biçimde nicelenir. Başka fenomenlerde de bu bilgi biçimiyle karşılaşıyoruz. Aynı entropi kavramı finansal spekülasyonları da yönetir; kârınızı

optimize etmek, iletişim kanalı kapasitenizi optimize etmekle aynı şeydir. Sosyal teoride için de durum aynıdır. Toplumu, sistemin öğelerinin ara bağlantılar içinde olmaları ya da korelasyon (eşevreli) halinde bulunmaları yönetir ve bu korelasyon Shannon entropisiyle nicelenir.

Olayların açık seçik sonuçlarının bulunduğu (yes/no, on/off vs.) klasik Boole mantığı tüm bu fenomenlerin temelini oluşturur. Kuantum teorisinin sağladığı en doğru gerçeklik tanımımız uyarınca biliyoruz ki bilgi bitleri bizi çok daha kusursuz qubit mefhumuna yakınlaştırır. Bitlerin aksine qubitler çoklu hallerde (yani yes/no bileşimi ve on/off bileşimi içerisinde) var olabilirler.

Shannon bilgisi, kuantum teorisini açıklamak adına genişletilebilir ve böylece ortaya çıkan çerçeve yani kuantum bilgi teorisi bize bir dizi avantaj sağlar. Kuantum bilgi teorisinin gücü kendini daha güvenli kriptografik protokollerde, bütünüyle yeni dizgeli hesaplamalarda, kuantum ışınlamada ve Shannon'ın bakış açısıyla imkânlı olmayan başka birkaç uygulamada belli eder. Ancak kuantum bilgi teorisi nihayetinde Shannon bilgi teorisinin bir kaplamı olduğu için, uygun şartlar sağlandığında Shannon teorisine indirgenebilir. Bundan başka, biyolojik sistemlerin fotosentez gibi bazı süreçleri yürütmek için kuantum bilgisinden faydalanıyor olabileceklerini gördük ve bunun bizim klasik bilgi anlayışımızla mümkün kılabileceğimiz her şeyden çok daha yaman bir süreç olduğunu anlayınca umutlarımızla kalakaldık.

Bu kitabın ana amacı gerçekliği bilgi bağlamında kavramaktır. Bu bakımdan kuantumun en doğru tanımımız olduğu düşünüldüğünde, tüm evreni bir kuantum bilgisayarı olarak düşünmek yerinde olacaktır. Evrenin tahmini gücü, 10 üzeri 100 bitlik bir bellek ve saniyede yaklaşık 10 üzeri 90 bitlik bir işlem hızıdır demiştik. Bu tahmini, evrenin giderek daha kü-

çük parçalara bölünüp, her bir küçük birimin bilgi içeriğinin, o birimin yüzey alanına oranlı olduğu olgusunu kullanıma sokarak yapabiliyoruz.

Peki tüm bu bilgi nereden geliyor? İki kişi iletişim halindeyken, biri diğeri için bilgi üretir. Ekonomik ya da sosyal bağlamlardaki her türlü bilgi de aynı şekilde insan etkileşimlerinden gelmektedir. İnsan etkileşimlerindeki, örneğin biyolojik sistemlerdeki bilgi, DNA'nın moleküler niteliklerinden gelir. Molekülün davranışı da en nihayetinde kuantum fiziği yasaları tarafından idare edilir. Böylelikle gerçekliği ihtiva eden her bilgiyi kuantum bilgisine indirgeyebiliyor ancak bu kuantum bilgisinin nereden geldiği sorusuyla yine bir başımıza kalakalıveriyoruz.

Şimdi gelin tüm evrenin sayısal olduğu fikrine dönelim ve tüm bilgiyi yasalarımıza (ki sonrasında bu yasalardan gerçekliğimiz doğacaktır) sıkıştırabilmek için, bu sayısallığı kodlamak zorunda olduğumuzu hatırlayalım. Gerçekliğin bir şekilde bu yasalarda kodlu olduğu hakikati kulağa hiçbir şekilde yabancı gelmiyor. Antik Yunanlılar da (örneğin Arşimet) evreni bu yolla kavrıyordu. İlk "adamakıllı" bilim adamı Galileo Galilei de aynen böyle yaptı.

İşte büyük bilim adamından evrenin hakikatlerinin matematiğe kodlandığını açıkça ifade eden bir alıntı: "Felsefe bu devasa kitapta –Evreni kastediyorum– yazılı ve mütemadiyen gözlerimizin önünde duruyor, fakat öncelikle yazımında kullanılan dili idrak etmeden anlaşılamıyor. Bu kitap matematik diliyle yazıldı ve yazı karakterleri de üçgenler, daireler, kareler ve başka geometrik figürler. Onlar olmadan insan bu kitabın bir tek kelimesini bile anlayamaz; onlar olmadan insan, karanlık bir labirentin içinde dolanır durur."

Ancak biz Galilei'nin duygusallığının ötesine geçerek iki ana hususa değineceğiz. Öncelikle, geometrik karakterler ye-

rine bilgiyi kullanmak istiyoruz. İkincisi, bilginin evrende nasıl doğduğunu açıklamak istiyoruz. Bilgi kodlanıp, uygun biçimde tanımlanmış yasalara sıkıştırıldığında, gerçekliğimizi de bu yasalara kodlanan bilgi uyarınca kavrayabiliriz. Yasaların bilhassa kendileri bu devamlı evrilen resmin tümlenik (entegral) bir parçası olmak zorundalar. Aksi takdirde sonsuz döngüde sıkışıp kalırız. O halde evren bir bilgi işlemcisi, başka bir deyişle dev bir kuantum bilgisayarı olarak görülebilir.

Evrenin dev bir bilgisayar olduğu fikri de kulaklara hiç yabancı değil. II. Dünya Savaşı sırasında kriptografi tekniklerinde çığır açan ünlü Polonyalı matematikçi Konrad Zuze, evreni bir bilgisayar olarak gören ilk kişiydi. Onu çoğunluğunu Amerikalıların oluşturduğu birkaç araştırmacı izledi. Ed Fredkin ve 1970 yılında bu özel konuda birkaç makale yazan Tom Toffoli de bu Amerikalılardandı. Fredkin hâlâ evrenin dijital modeli ve içsel işleyişleri konusunda yolu açan önder olarak görülür. Ancak tüm bu modellerin problemi evreni klasik bir bilgisayar varsaymalarıdır. Oysa artık evrenin bir kuantum bilgisayarı olarak anlaşılması gerektiğini biliyoruz.

Biliyoruz ki gerçekliğimiz evriliyor. Çünkü gerçekliği tanımlayan programın kısımlarında ara sıra yeni düzenlemeler yapmamız gerekiyor. Bazen belli bir modeli temel alan bir kısım çürütülüyor (yani temel aldığı modelin kusurlu olduğu anlaşılıyor) ve programın güncellenmesi gerekiyor. Bir modeli çürütmek ve programın bir bölümünü değiştirmek görüldüğü üzere gerçekliğin kendisini değiştirme noktasında kilit unsurdur. Çünkü çürütmeler, bir modeli yalnızca doğrulamanın ötesinde bilgiler taşımaktadır.

Bu çürütmeler "no-go"[60] teoremleri olarak kendini gösterir. Fizik bu döküntülerle doludur. Fiziğin en önemli genel ya-

60 İng: Boşuna, faydasız. (Bölüm 7'de bu teoremler açıklanmıştı.)

salarından biri olan Termodinamiğin ikinci yasası, ısının soğuk bir kütleden sıcak bir kütleye başka bir etki olmaksızın transferinin men edilmesi bağlamında ortaya kondu. Yani ikinci yasa bize şunu söyleyecek. Fiziksel süreçlerin yapabileceği şeylerin garantisini veremesek de, neler yapamayacaklarını kesinlikle biliriz. "Bilinen bilinenleri" ve "bilinen bilinmeyenleri" bilsek de, "bilinmeyen bilinmeyenleri" bilmiyoruz. Bu durum gücünü de şiddetle hissettirir çünkü son derece geneldir. Mademki rölativite teorisi bize ışık hızından daha hızlı yolculuk yapamayacağımızı söylüyor, aynı şey bu teori için de geçerlidir.

Kuantum mekaniği söz konusu olduğundaysa bu "no-go" söylemi imgelem gücümüzün sınırlarını zorlar. Kuantum mekaniksel bağlamda bir cismin aynı anda iki farklı yerde olabileceğini söylediğimizde, bu durum olağan sezgilerimizle kavranamayacak kadar zor görünür. Ancak olumsuz yolu seçtiğimizde (yani değilleme yolunu) aslında, "cisim aynı anda iki yerdedir" önermesinin doğru olmadığını ve ayrıca cisim "aynı anda iki yerde değildir" önermesinin de doğru olmadığını kabule (bir anlamda) zorlanıyoruz. Yani "bir cisim aynı anda iki yerdedir" önermesi de, tam zıttı olan "bir cisim aynı anda iki yerde değildir" önermesi gibi doğru değildir. Peki bu nasıl olabiliyor? Bazılarına bu bir çelişki gibi görünse de Bohr için bu nokta derin bir bilgeliği yansıtır. Bohr şöyle ifade ediyor: "Sığ bir doğru, karşıtının yanlış olduğu bir önermeyken, derinlikli bir doğru, karşıtının da derinlikli bir doğru olduğu bir önermedir."

Ancak, kuantum muammasını çözmek için tipik mantık kurallarını değiştirmemize gerçekten de gerek yok. Burada bir çelişki yok çünkü iki önerme de iki farklı deneysel prosedüre gönderme yapıyor. Partikülün aynı anda iki yerde olması doğru değildir dediğimizde, aslında olayı saptama prosedü-

rümüzden bahsetmiş oluyoruz. Partikülün pozisyonunu ölçtüğümüzde, partikül daima ya bir yerde ya da başka bir yerde oluyor fakat asla iki yerde birden olmuyor. Bu da bir partiküle sahip olduğumuzu doğruluyor. Ancak hiçbir ölçüm yapmayıp, cisimle onun yerini kayda geçirmeyecek bir biçimde etkileşim kurduğumuzda, cisim sanki aynı anda iki yerde birden bulunuyormuşçasına davranış sergiliyor. Yani cismi iki farklı yaklaşımla ele almak, cismin davranışına yönelik iki farklı senaryo açığa çıkarıyor. Ve bu gerçek hakkında çelişkili olan hiçbir şey bulunmuyor.

Bununla birlikte, doğuveren gerçeklik, hangi soruyu sorduğumuza tabi değildir. Cisimleri, üzerinde ölçüm yaptığımız ayırıcı niteliklerine bağlı olmak suretiyle farklı karakteristiklere bürünmeye zorlayabiliriz. Tüm kuantum bilgisi nihayetinde bağlam bağımlıdır. Einstein bir anlamda bize gerçekliğin gözlemlerle yaratıldığını ve bundan dolayı da bizden bağımsız olmadığını ifade eden bu gerçeklik bakışından hiç mi hiç hoşlanmıyordu.

Genel anlamdaki Popper bilim felsefesine son derece yakın duran teolojik bir görüş bulunması da ilginçtir. Bu düşünce biçimi *Via Negativa* (ya da karşıt yol) olarak bilinir. İlk olarak dördüncü yüzyılda yaşamış Kapadokya Papazları tarafından biçimlendirilen bu görüş, temelini cevaplandırılamayan sorular üzerine kuruyordu. Örneğin; bu papazlar Tanrıya inanıyorlar ancak Tanrının var olduğuna inanmıyorlardı. Büyük bir çelişki var gibi görünüyor fakat hiç de öyle olmadığını şimdi göreceğiz.

Aslına bakarsanız *Via Negativa* Doğu'da da çok iyi bilinen bir düşünce tarzıdır. Hinduizm'de tanrıya *Neti* yoluyla, yani Sanskritçede "bu değil" fikriyle yaklaşılır. Bu son derece iyi yapılandırılmış yöntem, pek çok kadim kültürden yazılı belgeler yoluyla sağlanmıştır. Bu kadim kültürlerin arasında Ad-

vaita Vedanta da bulunur (bu kültür evreni tek ve ayrılmaz, yani Brahman olarak belirliyor ve Brahman'ın nitelikleri yalnızca karşıt yolla kavranabiliyor).

Kapadokya Papazları, Tanrının doğasının ancak ve ancak O'nun ne olduğundan ziyade ne olmadığına odaklanarak tanımlanabileceğine inandılar. Bu "negatif" teolojinin (aynı zamanda Yunancada, "olmayan", yani *apophatik* olarak adlandırılır) temel öncülü, Tanrının insan kavrayışının ve deneyiminin çok çok ötesinde olduğunu ve O'nun doğasına bir parça da olsa yakınlaşabilme ümidi için karşıt (negatif) niteliklerini sıralamamız gerektiğini ifade eder. Bu yüzden de "Tanrı vardır" diyemeyiz, çünkü varoluş bir insan kavramıdır ve böyle olduğu için Tanrıya uygun düşmeyebilir.

Kapadokya Papazları tarafından hazırlanan bu "Tanrı ne değildir?" listesi düpedüz fizik yasalarını ve bilimin genel ruhunu andırmaktadır. Fizikçiler evrenin ne olduğunu ve tam olarak nasıl davrandığını söyleyemezler (ya da şöyle söylemek daha doğru olacak: Nihai tanımlamayı veremeyiz). Ama ne olmadığını elbette söyleyebiliriz. Örneğin; yerkürenin 4000 yıl önce yaratılmadığını biliyoruz. Çok çok daha önceydi ancak tam zamanını kesin olarak bilemiyoruz. Yerkürenin nasıl yaratıldığını bilmiyoruz ancak dev bir su kaplumbağasının kozmik bir okyanusta sırtını dikmesi suretiyle oluşmadığını da biliyoruz (ayrıca yerkürenin güneşten önce oluşmadığını da biliyoruz).

Yine evrenin her yerindeki fizik yasalarının yerküredekilerle aynı olduğuna inanıyoruz, ancak nihai fizik yasalarının ne olduğunu (belki kuantum, belki de kuantum ötesi bir şeyler) tam olarak bilemiyoruz. Aynı şekilde bilim de bize her şeyin nihai kökenini dört dörtlük söyleyemez. Bilim bize evrenin ne olduğunu söylemekten ziyade "ne olmadığını" söyleyecek bir usulle yapılanmıştır. Bilim, yerkürenin evrenin

merkezi olduğunu veya insanın evrimin ana unsuru ya da amacı olduğunu düşünmememizi ister. Bize insanlar hakkında nasıl düşünmemiz gerektiğini söylemez ama örneğin insanları maymunlardan ayıran büyük temel farklılıklar olduğunu düşünmememizi de sağlar.

Kapadokyalı Papazlar da Tanrının nihai bilgisine, bizim gerçekliğe dair nihai kavrayışımıza ulaştığımız yolla ulaşıyorlar. Onlar bunu Tanrının ne olmadığını söyleyerek yapıyor, biz ise gerçekliğin ne olmadığını söyleyen varsayımlar ve çürütmeler temelindeki bilimsel yönteme güveniyoruz. Bununla birlikte din hususunda negatif (karşıt) yöntemle konuşmak sıklıkla irrasyonel mistisizm olarak görülür (ki bence yanlıştır). Çünkü aslında burada din ile bilimsel yöntem arasında son derece rasyonel bir temelde paralellik oluştuğunu da ortaya koymuş olduk.

Gerçekliği değilleyici yöntemle, yani doğru olmayanı diğer her şeyden ayırıp da tanımlamak suretiyle gerçekliği bir dizi yasaya sıkıştırdık. Bu yasalar da tersi ispatlanana kadar doğru olarak kabul görüyor ve kullanılıyorlar. Fizik yasaları gerçekliğin sıkıştırılmış halidir ve evrensel bir kuantum bilgisayarında işletime konduklarında gerçekliği üretirler. Her şeyin kökenini açıklamaya çalıştığımıza göre bu bilgisayar nereden geliyor?

Şimdi işler daha da dramatikleşiyor. Bir bilgisayarda işletime konduklarında gerçekliği üreten doğa yasalarına sahibiz, yani doğa yasaları etkin olabilmek için daha önceden var olan bir bilgisayara ihtiyaç duyuyorlar. Diğer bir söyleyişle, bilgisayarın faaliyetinin de başka tür yasalarla tanımlanması gerekiyor. Peki önce hangisi geldi? Kuantum bilgisayarı mı, yoksa fiziksel yasalar mı? Burada bir "yumurta mı tavuktan", yoksa "tavuk mu yumurtadan" çıkar durumuyla baş başa kaldık gibi görünüyor.

Yine de şu var; belki de yasalar ve bilgisayar aynı anda hiçlikten yaratıldı? Bu olasılığı imgelemek son derece güç gibi ancak tarih boyunca bu yönde pek çok çaba gösterildiğini görüyoruz. Bu girişimlerden birisi de –ki bana pek de zekice gelmediği gibi, bilimsel olarak geçerli dahi görünmüyor– antropik ilke olarak bilinen ilkeyi akla getiriyor.

Antropik ilke evrenin yasalarının oldukları gibi olduklarını, farklı olsalardı onlar hakkında konuşamayacağımızı ifade ediyor. Bu bir "döngüsel argüman"[61] gibi görünse de, öyle değildir. Döngüsel argümanlar, varsayıldıkları üzere mantıksal olarak doğru kabul edilirler (aslında böyle olmaları pek de önem taşımaz çünkü daha sonra ispatlamaya çalışacakları şeyi postulat etmektedirler –şu önerme gibi: Jennifer Lopez'i seviyorum çünkü o en sevdiğim insandır). Fakat antropik ilkenin ayan beyan yanlış olduğu görebiliriz. Varlıkları, örneğin bizler gibi bilim yapan ve doğanın yasalarını keşfeden insanları, yönlendiren başka yasalar olup olmadığını sahiden de bilmiyoruz. British Astronomer Royal ve Royal Society'nin şu anki üyesi olan Martin Rees, antropik ilkeyi modernize etmek için ön ayak olan ilk kişidir. Rees'in antropik ilke versiyonu şöyle gelişir (bu arada konuyla ilgili köpeğinin hayatı üzerine bahse girmiştir). Tüm olası evrenler var olmaktadırlar ve bizler sadece bu evrenlerden uygun koşulları taşıyanların alt kümelerinde var olabiliriz. Umalım da Rees haklı olsun ve köpeğinin hayatı kurtulsun.

Başka bir olası girişimiyse az önce inceledik. Birisi yasaları ve startı verecek bilgisayarı yaratmıştır ve bu orijinal bilgi yaratıcısı geleneksel olarak Tanrı diye addedilmektedir. Eyvah eyvah! Bu durumda yine Tanrının kökenini açıklamak zorundayız ve bu neredeyse imkânsız gibi görünüyor.

61 İng: Circular argument. Sonucunu öncülünde kapsayan argüman.

Ama bir an durup bilgisayarları düşünelim. Bilgisayarlarımızla farklı dünyalar tasarlayabiliriz. Aslında her bilgisayar oyunu, kendi farklı kuralları olan başka bir dünyanın simülasyonudur. Bilgisayar oyunları bu yüzden böylesine eğlencelidir ve muhtemelen bu yüzden zordur. Oyunlar ve bilgisayarlar giderek daha da sofistike hale geldikçe, grafikler de iyileşiyor ve simülasyonu gerçekten ayırmak da zorlaşıyor (örnek; Keanu Reeves, *The Matrix*).

Yine de Tanrıya güvenmekten kaçamıyoruz. Bu bağlamda Tanrı, bize evreni veren yazılımı programlayan bilgisayar programcısıdır. Bu çözümün bilim adamlarınca kabul edilişinin zorluğundaki sıkıntının nedeniyse daha önce açıklandığı üzere şudur. Şüphesiz bu çözüm bize daha hoş bir tablo çiziyor ancak sonuçta yine aynı çıkmaza sürüklüyor ve bilginin esas kökeni sorunsalına dönüşüyor. Yani bana birinin simülasyonu olduğumuzu söylüyorsanız, o kişiyi kim yarattı ve ona simülasyon yapmasını söyledi?

Bu soruya verilen tüm cevaplar doğrudan yine o sonsuz döngüye gidiyor. Galiba bu sokaktan daha önce geçmiştik. Şöyle ki her yaratıcı için, onu yaratan başka bir yaratıcı icat etmek zorundaymışız gibi görünüyor. Tanrı evrenimizi yarattı, başka bir tanrı o ilk tanrıyı yarattı ve böylece sonsuza doğru gidiyor... Bu gerçek bir çözüm değil ve "Gerçeklik nasıl var oldu?" tarzında sorulara bir temel teşkil edemiyor.

Benzer bir sonsuz döngü problemiyse von Neumann'ı yinelenim (replikasyon) teorisini oluşturmaya yöneltti. Neumann'ın burada karşılaştığı problem şuydu. Bir şey bir sonraki neslin bir kopyasını içermek ve o bir sonraki kopya bir sonraki kopyayı içermek durumundaydı ve bu zincir böylece uzuyordu. Böyle bir mantığın doğada idame etmeyeceği açıktır çünkü mantık sonraki her kopyada bugünkü kopyanın depolanmasını (yani sınırlı bir alanda sınırsız bilgi miktarı de-

polanmasını) gerektirmektedir. Sonuç olarak başka olası açıklamalara bakmak durumundayız.

İlginçtir, insanların zihnindeki Tanrı imajı, çağlar boyunca edindikleri bilgiyle uyumlu biçimde değişmiştir. Prehistorik insanlar yaşamın her bir elementinde başka bir tanrı görüyorlardı ve bu tanrılar o elementi yaratmakla yükümlü olup, o elementten sorumlu oluyorlardı. Antik Yunanlılarda hâlâ çoktanrılı bir tanrı kavramı vardı ancak onların tanrıları sayıca daha azdı ve sevgi, savaş, barış ve mutluluk gibi soyut kavramlarla bağdaştırılıyorlardı. Yine öteden beri tektanrılı bakış açısını sürdüren pek çok din vardı; Musevilik, Hıristiyanlık ve İslâm gibi. Aynı şekilde bugün Doğu'da daha çok kozmik bir ilkesel birliğin farklı versiyonlarını görüyoruz (oysa tam tersine popüler din çoktanrılı terimlerle ifade ediliyordu).

Tektanrılı bakış açısı iki bin yılı aşkın süredir hüküm sürüyor ancak Tanrı'nın uğraşısı bir şekilde değişim gösterdi. On altıncı yüzyılda yaşayan Johannes Kepler'e göre Tanrı bir geometri mühendisiyken, bir yüzyıl sonra Newton için Tanrı bir fizikçiydi ve evrenle birlikte fizik yasalarını yarattıktan sonra koltuğuna çekilip gerçekliğin evrilmesini izlemeye başlamıştı. Newton'un dünyasındaki fizik yasaları tamamıyla deterministtir ve her şey bir düzen dahilinde olup biter. Bu öykünün son vücut buluşundaysa, Tanrı'dan koltuğuna oturup evreni programlayan bir bilgisayar programcısı olarak söz etmekteyiz.

Tanrıya ulaşmak için konuşulan bu yollardan hiçbiri bilginin kökenine dair soruyu cevaplayamasa da, süreç boyunca Tanrının rolüyle ilgili belirli bir trend gözleniyor. Şöyle ki Tanrı, kendi yaratımına giderek daha az dahil oluyor. Antik zamanlara baktığımızda Tanrının her bir küçük cismi yarattığını ve müteakip fonksiyonlardan da sorumlu olduğunu görüyoruz. Yani neredeyse işler baştan aşıyordu. Öte yandan

Newton'la birlikte işler değişti. Tanrı artık yalnızca fizik yasalarını yaratmak zorundaydı ve yasaları bir kez yarattıktan sonra artık dinlenebilirdi. Bu noktada kimileri, Newton'un ortaya koyduğu zahmetsiz yaratıma bakarak, Yaratıcıya ihtiyaç olup olmadığını bile sorgulamaya cüret edebiliyorlar.

Burada iddia etmeye çalıştığım şeye oldukça benzer bir yaklaşıma matematikte rastlıyoruz. Aslında karşılaştığımız şey bir "hiçlikten yaratım" versiyonudur. Boş kümelerden doğal sayıları yaratma yöntemi, 1920'lerde Von Neumann tarafından geliştirildi. Küme, nesneler topluluğu veya yığınıdır (tıpkı evren gibi). Boş kümeyse hiçbir öğesi olmayan kümeye verilen addır, yani onu sıfır bilgiye sahip olarak düşünebilirsiniz. Von Neumann zihin operasyonları vasıtasıyla tüm sayıları boş bir kümeden önyükleyebileceğimizi[62] ileri sürüyor.

Başta biraz acayip görünse de mantık nefis. Şöyle ki; zihin boş kümeyi gözlemler. Bu boş kümenin bir başka boş kümeyi de kapsadığını imgelemek pek de zor olmaz. Durun durun, artık bir boş kümeyi kapsayan bir boş kümemiz oldu bile. Yoksa bu bir elemana sahip orijinal bir küme anlamına mı (eleman boş bir küme olsa bile) geliyor? Evet, işte zihin, bir boş küme kapsayan boş kümeyi üreterek bir sayısını meydana getirmiştir. Devam edip boş kümenin kapsadığı boş kümenin de kendi boş kümesini kapsadığını düşündüğümüzde, zihin iki sayısını da boşluktan var etmiş olur. Bu, içinde hiçbir şey olmayan kümeyi kapsayan bir küme ve yine bu bir kümenin kapsadığı içinde hiçbir şey olmayan kümenin kapsadığı bir boş kümedir. (Umarım başınız fırıl fırıl dönmüyordur!) Ve bu böylece devam ederek sonsuza gider. Bu yolla zihin tüm doğal sayıları yaratır. Hem de kelimenin tam anlamıyla hiçlikten yani boş bir kümeden başlayarak yaratır. Von Neu-

62 İng: Bootstrap.

mann'ın mantığını kullanıp bilgi olmadan başlamak, bizi şaşırtıcı bir şekilde bir dolu bilgiye götürüyor. Böylece tüm doğal sayılar (sonsuzca çoklar) tamamen boş bir kümeden yaratılabiliyor. Diğer bir söyleyişle sıfır bilgiden sonsuzca bilgi yaratabiliyoruz.

Burada Neumann'ın mükemmel vizyonuna da vurgu yapalım. Şöyle ki; sonraki (müteakip) her bir yaratım, bir öncekine bağlıdır. Burada uzun bir dayanışık (korelasyonlu) yaratımlar zinciri söz konusudur. Zihin bu boş kümeye farklı bir biçimde bakmak için her karar verdiğinde, yeni bir sayı oluşur. Demek ki korelasyonlar bizim tanımımızı ve Neumann mantığını anlamamız doğrultusunda birincil önemdedirler. Ancak von Neumann mantığı haricinde gerçek dünyada da kritik önem taşırlar ve kendilerini karşılıklı bilgi vasıtasıyla gösterirler. Gerçekten de bu durum insanı, şeylerin ve olayların kendilerinde bir anlamları olmadığını, yalnızca aralarında paylaşılan (karşılıklı) bilginin "gerçek" olduğunu söylemeye teşvik ediyor. Fiziksel nesnelerin salt varoluşları da dahil olmak üzere tüm nitelikleri, yalnızca aralarındaki ilişkilerde ve dolayısıyla diğer fiziksel nesnelerle paylaştıkları bilgide kodlanmıştır. Bu yepyeni bir bakış açısı da değildir; son derece iyi yapılandırılmış bir felsefe olup "relationalism"[63] adını alır.

Doğu dinleri ve felsefesinde ilişkisel[64] düşüncenin sağlam kökleri vardır. Özellikle Budizmde Neumann'ın boş kümesiyle benzeşen "boşluk" kavramına rastlarız. Budizmde boşluk, "şeylerin" kendilerinde var olamayacağı ve fakat yalnızca diğer "şeylerle" ilişki içinde mümkün olduklarını imler. Örneğin bir sandalyeyi düşünün. Bu sandalye gerçekte nedir? Tüm ontoloji[65] kendini "Olmak ne demektir?" ya da "Ne var

63 İlişkiselcilik.

64 Rölasyonel.

65 Varlıkbilim. En temel felsefi disiplinlerden ve metafiziğin temel kollarından biri.

olur ve hangi anlamda gerçektir?" gibi soruların cevaplandırılmasına adamıştır. Tüm varlıkbilimcilerden burada peşin peşin özür diliyor ve asgari düzeyde teknik kesinlikler kullanarak devam ettiğim için aflarına sığınıyorum. Takip eden tartışmada oldukça önemli olacaklar.

Bir sandalyenin yalnızca, kol dayama yerleri, oturacak yeri vb. gibi tek tek kısımların toplamı olduğunu imgeleyelim. Elbette olabilir ancak bunlar yalnızca belirtkelerdir. Kol dayama yerleri ve oturacak kısım bağlamdan bağımsız olarak var olamaz, yani "sandalye" (yalnızca sandalyelerin kol dayama yeri olduğunu varsayalım) ya da "kol" kavramı olmadan kol dayama yerine sahip olamazsınız.

Bir sandalyeyi her şeyden bağımsız olarak belirten "sandalyeliğin" özünü ararken, bir sandalye, sandalye biçimine bürünmüş atomların derlemidir diyemez miyiz? Ancak bir atom da nihayetinde, nötr parçacıkların yanı sıra biraz pozitif ve biraz da negatif parçacıklardan oluşan bir sistemi tanımlayan bir belirtkedir. Bunların hepsi de (elektron, proton ve nötron) bizler tarafından konulan nitelendirici isimlerdir. Bir elektronun ne olduğunu sorduğumuzda, negatif yüklenmiş küçük bir parçacık cevabını alırız ama bu sadece bu parçacığın çeşitli deneylerde nasıl davrandığını söyleyen (bazı parçacıkları iter ve bazılarını çeker gibi) bir belirtke olacaktır. Bu belirtke olmadan bir elektronu "Y"yi test ettiğimizde X'i ortaya çıkaran ve Q biçiminde baktığımızda P'yi ortaya koyan şey, vb. olarak adlandırmamız gerekecek. Bu anlamda bakarsak belirtkeler müthiş kullanışlı ve etkinlerdir. Ancak Budizm bize belirtkeyle cismi birbirine karıştırmamamız gerektiğini söylemektedir. Daha da önemlisi bir şeye belirtke bulmamız, o şeyin gerçek olduğu anlamına gelmeyecektir.

Quantum fiziği, Budist boşlukla bu anlamda hakikaten hemfikirdir. Ünlü İngiliz astronomu Arthur Eddington duru-

mu şöyle ifade ediyor: "'Partikül' terimi modern fizikte varlığını sürdürmektedir ancak o klasik anlamından geriye pek az şey kalmıştır. Şimdilerde bir partikülü en doğru şekilde *bir dizi değişkenin kavramsal taşıyıcısı* diye tanımlanabiliyoruz... Ayrıca bir partikül, aynı değişkenler dizisiyle belirtilen *bir hal içerisinde bulunan sakin (ikamet eden)* olarak da kavranabilir... Gelinen nokta itibariyle 'matematiksel kurguları (fiksiyon)', 'gerçek partiküllerden' ayırt etmek arayışına girilebilir ancak böyle bir ayrım için mantıklı bir temel bulmak zordur. Çünkü bir partikülü *keşfetmek,* partikülün varoluşunun kanıtı olarak kabul edilen bazı belirli etkileri gözlemlemek anlamına gelmektedir."

Eddington bu ifadesinde, bir partikülün ölçümlerimizin sonuçlarını tarif edebilmek adına kullandığımız bir belirtkeler setinden ibaret olduğunu iddia ediyor. Bütün olay budur, yani ölçümlerimiz ve belirtkelerimizden indirgenen özsel bir ilişkililik (rölasyon) hali! Etrafımızda gördüğümüz tüm bu karmaşıklığın ana sebebi (ki yaşamı düşündüğümüzde bu karmaşıklığın zamanla gelişip, arttığına inanıyoruz) giderek artan bağıntılılık halleridir.

Peki bu yolla gerçekliği nasıl kodlayacağımızı tahlil edebilir miyiz? Böyle yaptığımızda her ne şekilde olursa olsun asla "kendinde şeye"[66] varamayacağız. Var olan her şey uzlaşı (konvansiyon) ve belirtkelilikle var olur ve bundan dolayı da diğer şeylere tabidir! Bu yüzden de Budistlerin en yüce amacı –yani boşluğu idrak etmek– bağlantıda olan şeylerin en temelinde ne olduklarını kavramaktır. Bu diğer Doğu dinleri için de böyledir. Batı'da az bilinen bir Hinduizm felsefesi olan Advaita Vedanta evrendeki bütüncül birliği vurgular. Bu bakış açısı-

66 İng: "Thing in itself". Kant felsefesinde fenomenin ötesindeki varoluşsal öz, gerçek bilgi, numen.

na göre evreni ayrı ayrı mevcudiyet birimleri halinde algılamamız bir illüzyondan (*Maya*) ibarettir. Evren bile bir başına değil, bir belirtkeyle var oluyor. Gerçekliğimiz "insanlığın bugüne değin biriktirdiği tüm o gözlemler ve olguların toplamıdır!"

Geldiğimiz yer itibariyle şöyle bir noktadayız. Evrendeki maddenin herhangi bir partikülü (örneğin atom) ve evrendeki enerjinin herhangi bir partikülü (örneğin foton), onları saptamak için kullanılan girift bir işleme istinaden kavranabilir. Eğer detektör klik sesini çıkarırsa (Geiger sayacı gibi) partikül saptanmış demektir. Kliğin kendisi de gerçekliği kapsayan ekstra bir bilgi biti yaratır. Buradaki ana nokta, partikülün detektörden bağımsız olarak var olamayacağıdır.

Peki ama Geiger sayacı ya da benzeri herhangi bir detektörde bu kliği tesis eden nedir? Bir klik, bir parçacığın varlığını saptayabilen herhangi bir deneysel prosedürün olumlu sonucudur. Bu olay (klik) deneysel bir aparat ve partikülü aradığımız uzaysal alan arasında husule gelen spesifik bir etkileşim vasıtasıyla gerçekleşir. Bahsettiğimiz iletişim üzerinde son derece dikkatli bir mühendislik çalışması yürütülmelidir, çünkü bazı etkileşimler amaca hizmet etmeyi başaramayabilirler, yani bize ilgili bilgi bitini vermezler. Foton örneğine dönerek konuşursak, bir demet bölücüsü bize fotonun var oluşuna dair herhangi bir bilgi vermeyecektir. Demet bölücüdeki hiçbir şey, aranıp taranan fotonun varlığına ya da yokluğuna dair bir kayıt bulundurmaz. Diğer bir söyleyişle demet bölücüleri klik falan oluşturmaz. Klik istiyorsak demet bölücü yerine ya da ona ilaveten başka bir şey, örneğin ışıl çoğaltıcılar[67] kullanmalıyız. Işıl çoğaltıcılar şunun için tasarlanmıştır. Fotonun varlığı bir elektrona çarpar, elektronun devinimi bir

67 Işıtelektrik yoluyla elde edilen eksiciği üstel bir çarpan ölçüsünde çoğaltarak baştaki ışık yeğinliğini ölçen aygıt.

elektrik akımını tetikler ve bu akımın varlığı makroskobik düzeyde yükselir (amplifiye olur). Sonuçta ortaya kulağımızın duyabileceği bir klik sesi ya da duyumlarımızla tescilleyeceğimiz başka bir tür etki meydana getirir.

Biraz daha ileriye gidelim. Detektörün klik sesi çıkarmasının sebebinin partikül olup olmadığını da sorabiliriz. Cevap hayırdır. Kuantum fiziğine göre sebep, daha önce konuştuğumuz üzere partiküllerin aynı anda hem var olup hem de olmayışlarıdır. Burada yalnızca partiküllerin farklı yerlerde var olmalarından söz etmiyorum, bir partikülün aynı yerde ve aynı anda (eşzamanlıca) hem var olduğunu hem de var olmadığını söylüyorum. Bu durum da kuantum belirsizliğinin doğrudan sonucudur. Peki bu daha önce konuştuğumuz demet bölücü örneğinde ne anlama gelir? Bir fotonun aynı anda demet bölücüye hem girmesi hem de girmemesi anlamına gelir ve bu da gözlem sonucu olarak saptanabileceği tek anın, var olduğu an olduğunu gösterir. Detektörün klik verip vermeyeceği hiçbir şekilde kestirilemez ve gerçek manada rastlantısal bir olaydır. Yani tıpkı demet bölücüdeki fotonun yansımasını kestiremeyeceğimiz gibi (çünkü aynı zamanda geçtiğini de biliyoruz), var olan bir partikülün kliğe yol açtığını da söyleyemeyiz. Bu kliğin hiçbir sebebi yoktur ve bu yüzden de temel parçacıklar yoktur.

Gerçeklikte temel parçacıklar olmadığı için, girift işlemlerle yapılan deteksiyonlar olmadıkça, evrende partiküllerden yapılmış var olan hiçbir şey yoktur. Deteksiyonlar tamamen rastlantısaldır ve husule gelen gerçeklik fizik yasalarıyla ifade edilen olaylar (bilgi bitleri) arasındaki korelasyonlar yoluyla anlaşılır. Eğer bilgi sıkıştırması ve rastlantısallık arasındaki bağlantı Kolmogorov ve Chaitin'in düşündüğü gibiyse, bu vardığımız sonuç gelecekte keşfedeceğimiz her türlü temel doğa teorisiyle ilgili bazı olası göndermeler yapmaktadır.

Gerçeklik, nedensiz bir klikten doğan kuantum bitlerinden ibarettir. Bu tamamen sebepsiz kliğin, bizi zamanda süreksizlikle tanıştırması gibi yepyeni bir niteliği var. Bir olay kaydedildiği anda evrende sonsuza dek katılaşıyor (yani tahkim oluyor). Ve geçmiş dediğimiz şeyin bir parçası oluyor. Ancak o olay olmadan önce ne zaman olacağı ya da olup olmayacağına dair yaşadığımız bir belirsizlik bulunur. Olay olmadan önce aynı anda tüm olasılıklar var olmaktadır ve bu anlamda oyun tamamen serbesttir. Zira olayın oluşu gelecek dediğimiz şeye bağlıdır. Gerçekliğin çekirdeğindeki temel rastlantısallık, bize katılaşmış, değişmez, geçmişle ilgili olanla, değişken, dinamik bir gelecekle ilgili olan arasında ayrım yapma imkânı sağlıyor.

Bir ölçüm dolayımıyla gelen bir süreksizlikle ayrılan geçmiş ve gelecek arasındaki ayrım, daima ölçüm kliğini kayıt eden gözlemciye görelidir. Kuantum mekaniğine göre gözlemciyi ve çevresiyle olan etkileşimini kontrol eden birisi, deteksiyonu tersine çevirmek suretiyle gözlemcinin geçmişini silebilir. Burada hiçbir çelişki ya da açmaz bulunmuyor. Olay tamamen lokal bilgiyle (gözlemcinin bilgisi), global bilgi (gözlemciyi ve çevresini manipüle ederek gözlemi ters çeviren kişinin bilgisi) arasındaki karşılıklı etkileşimden ibarettir.

Çok şaşırtıcı hususa daha değinelim. Boşluğu idrak etme mevzuunda derin düşüncelere dalarak yaptığımız zihin egzersizleri, von Neumann'ın boş kümeden sayı yaratımıyla oldukça benzeşiyor. Tek bir fark var; ikisi de tam zıt yönlere gidiyorlar. Von Neumann boş bir kümeden sonsuz doğal sayılara giderken, biz burada makroskobik cisimlerle başlayıp, artlarında hiçlik olduğunu, rastlantısallığa dayandıklarını, öncül bir bilgiyle gelmediklerini keşfetmek adına bu cisimleri yapı bozuma (dekonstrüksiyon) tabi tutuyoruz.

İşte gerçekliğin karanlık yüzü! Bu evrende var olan her

şey, her türlü gerçekliği atfettiğiniz her şey, ancak evrendeki diğer cisimlerle paylaştığı karşılıklı bilginin erdemi yoluyla var oluyor. Bunun ötesinde de hiçbir şey var olmuyor ve hiçbir şeyin altında hiçbir temel gerçeklik yok ve bu yüzden sonsuz döngü diye bir şey de yok. Zaten böyle de olmak zorunda, aksi halde sonlu bir evrenden sonsuz bilgi miktarını kapsamasını beklemiş oluruz ki bu açıkça imkânsızdır!

Bu mantığı izlediğimizde evrenin evriminin, tüm potansiyel gerçeklikler içerisinden doğan tek bir gerçeklikle başladığını düşünmek doğru olacak. Tüm olası müteakip gelecekleri içeren bu başlangıç halinden, ilk olay hiçbir sebep olmaksızın doğar ve bu olay (yani rastlantısal olay) bize ilk bitini verir. Böylece tüm bu olası geleceklerden ötürü, şimdi daha az sayıda geleceğe sahibiz. Çünkü ilk olay spesifik bir biçimde oluştu ve müteakip tüm olaylar geçmişlerinde bu ilk olayı ihtiva ediyorlar. Bu yolla da bitler arasında karşılıklı bilgi yapılanıyor.

Şimdi heykel sanatından yola çıkarak bir analoji kuralım. Bir heykeltıraş bir heykel yapmak ister ve bir taş blokuyla işe başlar. İlk baştaki bu hiç el sürülmemiş taş blok, bir anlamda yapılabilecek tüm olası heykelleri içermektedir. Bu biraz da evrenimizin ilk haline benziyor, yani tüm olasılıklar aynı anda varlar ancak aktüel hale geçirilmemişler. Ardından heykeltıraş ilk hamlesini yapar ve taş bloktan bir parça oyuverir. Sanatçının bu ilk kesimi simetriyi bozar ve ilk baştaki blokta içerilen bilgiyi indirger. İlk başta mevcut olan tüm olası heykellere bundan böyle sahip değiliz, çünkü oyulup atılan parçaya gereksinim duyan bazı olası heykeller bundan böyle zihinde bulunamayacaklar.

Michelangelo'yu düşünelim. Altı metre uzunluğundaki taş blokunun gerisinde durmuş, yapacağı Davut heykelini düşünüyor. Davut şu an Floransa'daki Galleria dell'Accademia'da

bir Rönesans dâhisinin başyapıtı olarak beş metrelik boyuyla gururla yükseliyor. Bu dâhinin ilk hareketinde elinin kaydığını ve yatay biçimde oyma yaparak ikisi de üçer metre uzunluğunda iki küçük blok elde ettiğini düşünün. Evet hâlâ bir heykel yapabilir ancak artık aynı Davut olmayacaktır. Bir hatalı hareket daha yaparsa, geri kalan bloktan ne yaratıp yaratamayacağı da ayan beyan etkilenmiş olacak. Yani artık olasılıkları indirgenmiş olacak.

Ve heykeltıraş taş blokunu oyarak böyle böyle devam ettikçe, yaptığı her hareket olası geleceklerin sayısını da azaltır. Heykel bittiğinde ortaya çıkan şey tek bir olasılıktır. Fakat sonrasında da heykeli değiştirmek için yapılacak bir şeyler vardır, bu yüzden de asla final diyeceğimiz bir yere gelemeyiz. Ne zaman finale vardık diye düşünsek, heykeltıraş yeni bir oyma yapabilir. Peki geriye yapılacak hiçbir hareket kalmazsa ne olacak? Bu gerçekçi bir senaryo mudur? Şimdiye kadarki tartışmalarımız uyarınca evrende asla böyle bir şey olmayacak, çünkü bakış açısındaki tek bir değişim, yeni fikirler ve gerçekliğin biçeminin ne olacağına dair yeni bilgi üretecek. Giderek daha da küçülen keski hareketleriyle biçemi değiştiren heykeltıraş, geriye kalan bütün üzerinde daima yeni bir oyma yapabilecek.

Evren hakkında böylesi mutlak düşünmek, bilimin çalışma ruhuna tam manasıyla bir somutluk kazandırıyor. Farklı şeyleri gözlemleyerek evren hakkında bilgi ediniriz ve bu gözlemler sonrasında gerçekliğimizi biçimlendirmek için işe koyulurlar. Böylece etrafımızı saran gerçeklik açık ve somut olarak meydana çıkar. Bununla beraber, evrenden aldığımız bilgi bir gözlemci vasıtasıyla tanımlandığı için, şimdi bu gözlemciyi de tanımlama sorunsalı ortaya çıkıyor. Gözlemlerine şüpheye yer bırakmayacak şekilde güvenebileceğimiz evrensel bir gözlemci var mı? Pekâlâ, doğaüstü bir varlık kavramı-

nı ortaya getirmeyi (ki bence her zaman yan çizmek demektir) bir kenara bırakırsak, diğer gözlemciler de kendi gerçekliklerini her gözlemci gibi iyi şekilde tanımlayabiliyorlar gibi gözüküyor.

Bölüm 2'de gerçekliği Calvino'nun kart oyunu yoluyla tanımlamıştık. Bu oyunda her oyuncu bir gözlemciyi temsil eder ve sırası gelen her gözlemci gerçekliğin başka bir yönünü (ekonomi, fizik, biyoloji, sosyal bilimler, bilgisayar bilimleri ve felsefe) ifade eder. Her gözlemci ne deneyimler yaşadığını bir dizi kart yoluyla nakleder. Fizik, elmayı bırakırsanız, yere düşer ya da belli bir derecenin üzerinde ısıttığımız su buharlaşır gibi fiziksel yasaları anlatır. Ekonominin, biyolojinin ve diğer gözlemcilerin de aynı şekilde kendilerine ait hikâyeleri vardır.

Masadaki her gözlemci kendi hikâyesini anlatırken, diğer oyuncuların hikâyesini de dinleyecektir. Böyle böyle oyuncular arasındaki bilginin paylaşıldıkça, gerçeklik doğar. Örneğin; bugüne değin fizikçiler tarafından açılan kartlar en hızlı yolculuğun ışık hızı olduğunu açığa çıkardı. Bu demek değildir ki fizikçiler gelecekte belirli bazı şartlar altında ışıktan daha hızlı seyahat edebileceğimizi söyleyen kartlar açmayacaklar. Oyuncular hikâyelerinde tutarlı olsalar da, gözlem süremiz uzadıkça gözlemlerimiz hakkındaki yorumlarımız daha da güçlü kestirimlerle evriliyorlar. Tıpkı günlük hayattaki söyleşilerimizde olduğu gibi, hikâyenin yarısını duymak kaçınılmaz olarak bir bilgi bölünmesine ve belki de mesajın tümden yanlış anlaşılmasına yol açıyor. Ne yazık ki içerdiği bilgiyi anlamlandırmak adına oyunun bitmesini beklemek, evrenin ömrü süresince beklememizi gerektiriyor. Bizse bunun yerine gerçekliği en iyi şekilde tanımlama çabalarımızı sürdürüyoruz.

Oyuncuların her biri hikâyesini kartlar yoluyla nakleder.

Bu kartların ön tanımlı olduğu (tıpkı lisan gibi) ve oyuncuların hikâyelerini nakletmelerini sağlayacağı varsayılır. Peki daha önceki tartışmalarımız uyarınca bu kartların nereden geldikleri hakkında bir şey söyleyebilir miyiz? Doğrusu evet. Bu bölümün başlarında belirttiğimiz gibi bilgi ayrık birimler halinde gelse de (kartlar ya da bilgi bitleri gibi), bu ayrık birimler temel bir düzeydeki rastlantısallığa dayanırlar. Peki kartlar kendilerinde bir tür rastlantısallık unsuru barındırıyorlarsa (yani bir kart bazen "gücü" bazen "barışı" temsil edebiliyor), o zaman oyuncu bu kartlarla nasıl tutarlı bir hikâye nakledebilecek? Elbette iyi tanımlanmamış kartlarla bir hikâye anlatmak mümkün olmazdı ve her şeyden öte mantıksız olurdu! Akla aykırı gibi görünen bir diğer şey de şudur. Etrafımızda iyi tanımlanmış bir gerçeklik algıladığımızı düşünüyoruz, ancak kuantum fizikçileri evrende bizden bağımsız tek ve temel bir gerçeklik olmadığını iddia ediyorlar. Yani gerçekliğimiz sadece biz onu gözlemlersek ve keza sadece gözlem yaptığımız zaman gerçekten tanımlanabiliyor.

Örneğin bir ışık parçacığı veya bir foton, yatak odanızın pencere camıyla karşılaştığında iki sonuç oluşabilir. Foton ya yansır ya da pencereden geçer. Kuantum fiziği bu fotonu gözlemlediğimiz takdirde sonucu asla başından tahmin edemeyeceğimizi, bu sürecin tamamıyla rastlantısal olduğunu söylüyorlar. Peki fotonu gözlemlemezsek ne olur? Kuantum fiziği fotonun iki alternatifi de değerlendireceğini söylüyor: Yani foton hem camdan içeri girer hem de yansır, şöyle ki aynı anda iki yerde birden var olur, yani iki başka gerçeklik vardır!

Fakat görünüşe bakılırsa biz yalnızca bir gerçeklik görüyoruz. Aynı insanın iki ayrı yerde bulunabildiği falan da yok. Peki gözlem eylemi nasıl oluyor da iki ya da daha fazla gerçeklikten tek bir gerçeklik doğmasına sebep oluyor? Kuantum fiziği, gerçekliğin gözlemciler ve gözlemlenenler arasın-

daki bazı etkileşimler vasıtasıyla doğduğunu söylemeye çalışıyor. Bu sanki elindeki destede olmayan bir kâğıdı, o aynı desteden çıkaran bir sihirbazın hilesine benzer. Basit bir oyun örneği vererek konuya açıklık getirelim.

Diyelim ki dört oyuncu var ve oyunun başında hepsine de dört kâğıt veriliyor. Oyunun amacı oyuncunun elindeki kâğıtların hepsinin aynı olması (dört as, dört onlu vs.) ve bunu kartlarını diğer oyuncularla değiştirerek yapacak. Dört aynı kartı ilk toplayan oyunu kazanacak. Bu arada bazı kurallar da var tabii. Kâğıt isteyebilmeniz elinizde aynı kâğıttan en az bir tane olmasına bağlı, yani as isteyecekseniz elinizde en az bir tane as olması gerekiyor. Şimdi, sorduğunuz oyuncu hayır derse elinde as olmadığını anlarsınız ve oyun sonraki oyuncuya geçer. Ama eğer kâğıt ondaysa size vermek zorunda veya aynı oyuncuya ya da başka bir oyuncuya yeniden kâğıt sorabilirsiniz. As sorduğunuz için diğer bütün oyuncular elinizde en az bir as olduğunu bileceklerdir. O halde bir sonraki oyuncu sizden ne alacağını da bilecektir. Elbette bu oyun çok basit ve birkaç turdan sonra kazanan belli olacak.

İlginç olan şey, oyunu oynamak için kartlara ihtiyacınızın olmayışıdır. İşte işler şimdi ilginçleşiyor. Bütün oyun yalnızca oyuncuların zihinlerinde oynanabilir. Her oyuncu zihninde tamamen gelişigüzel dört kart seçer, ki bu standart değildir çünkü hangi kartın üzerinde hangi imaj olacağının ya da kaç imaj bulunacağının da bir sınırı yoktur. Örneğin bir oyuncu üç adet üzerinde fil olan ve bir tane de timsah imajı olan kart imgeleyebilirken, bir başkası iki as ve iki adet elma resimli kart imgeleyebilir. Dördü de aynı olan kartlarla başlamamak şart koşulduğu sürece, en azından bir soru sormaya mecbur olduğunuzu da biliriz. İlginçtir, sonsuz sayıda kombinasyon var gibi görünse de bu gerçekte bir problem teşkil et-

mez ve her durumda kazananı bulabiliriz. Oyuncular oyun boyunca kartlarını değiştirebiliyor olsalar da, oyunun tutarlılığını etkileyecek biçimde tercih değiştiremezler. Durumu kurtaran şey de budur. Örneğin birinden bir kart istediyseniz, o karttan elinizde en az bir tane olması gerekir. Ve eğer bir oyuncu bir kartı sorduysa ve o kart başka biri tarafından da sorulmuşsa karttan vazgeçmek durumunda kalır. Böylesi bir tutarlılık koşulu ve oyunu kazanma adına kartları değiştirebilme yetisi, farklı farklı olasılıkların artışını oyun boyunca sınırlar. Hem cevap vermek hem de soru sormak, hem sizin elinizdeki hem de diğer oyuncuların ellerindeki kartları etkiler. Böylece elimizde kartlar ya da sınırlamalar olmaksızın oynanan bu farzımuhal oyun, sınırları belli olan bir oyuna indirgenir ve nihayetinde belirli bir kazananı olur.

Bu devamlı sorular yöneltme durumu, sonsuzca olasılığı gözlemleyerek işe başladığımız fizik deneyselliğiyle benzeşir. Fizikte bu olasılıklar, sistemle etkileşim ve mevcut bilgiyle uyumlu deneyler üzerinde yapılan değişiklikler yoluyla daha az elemanlı sonuçlar dizisine indirgenir ve ardından nihai bir kazanan bulunması suretiyle tek bir gerçekliğe ulaşılır. Deneyler de oyunun kurallarıyla, yani fizik yasalarıyla tutarlılık göstermek durumundadırlar. Kartların bu imgesel kart oyununu yaratmaları gibi, gerçeklik de deneyler yoluyla yaratılır. Bu analoji yoluyla okuyucunun kuantum fiziğinin garipliğine bir nebze de olsa alıştığını umuyorum.

Evrendeki bilginin hakikaten de Calvino'nun imgelediği kart oyununa benzediğini söyledim. Bilgi ayrıktır (DNA'dan ve yaşamdan söz ederek bunun nasıl bir avantaj sağladığını gördük), bağlam bağımlıdır ve sonludur. Calvino'nun kart oyununda eksik kalan ana unsur şu ki gerçeklikte kartlar yoktur. Doğa bize oyuna başlarken kartlar sunmaz. Bu durum kuantum fiziğine özel olan bir no-go teoremidir ve şu sözüm

ona gizli değişkenleri[68] kovar. Biz gözlemler yoluyla kartları kendimiz yaratmak zorundayızdır.

Kartlar ve evrendeki bilgi arasında kurulabilecek en uygun analojiyi, Calvino'nun kart oyunuyla, biraz önce bahsettiğimiz oyunun bir kombinasyonu sağlar. Her oyuncunun farklı bir kart dizisine sahip olduğunu ve kartların her birinin ön tanımlı bir anlam içermediğini varsayalım. Tıpkı her türlü biçimi oyabileceği taş blokla işe başlayan bir heykeltıraş gibi biz de ilgilendiğimiz her tür gerçekliği tanımlamak için başlangıç koşullarına sahibiz, çünkü oyunun başında tüm olası gerçeklikler potansiyel olarak var olmaktalar.

Diğer oyunculara istediğiniz kartlara sahip olup olmadıklarını sorarken hayat hikâyeniz de öngörülemez bir yolla ortaya serilir ve bu öyle bir yoldur ki diğer oyuncuların size hangi kartlara sahip olduklarını söylemelerine bağlıdır. Bu süreç yalnız ve yalnız diğer oyuncuların halihazırda anlattıkları hikâyelerin tutarlılığıyla belirlenir ya da sabitlenir. Örneğin fizik bize elimizden bırakılan elmanın yere düşeceğini söylediyse, daha sonra bu elmanın yere düşmeyeceğini söyleyerek hikâyeyi değiştiremez. Yani bu olay artık tanımlıdır, nakledilmiştir, kayıtlarda var olmaktadır ve değiştirilemez. Daha sonra bazı koşullarda bu elmanın yere düşmediğini keşfedersek bu da oyuncunun hikâyesiyle çelişmez, sadece bazı belirli koşullarda bu elmanın yere düşmeyebileceği şeklinde yeni bir kavrayış kazandırır.

"Kartsız kart oyununun" ana niteliği, kartların apansızın meydana çıkmaları olgusunda kendini belli eder. Oyuna başlarken hiçbir bilgimiz yoktur (ya da sonsuz bilgiyle, yani tüm olasılıklara açık bir halde oyuna başlıyoruz demek daha uygun olur). Kart düzenlemeleri ve sembollerine göre her şey

68 Hidden variable theory: Gizli değişkenler teorisi.

olası, her şey mümkündür. Sonra soru sormaya başlarız ve dışarıda belirli bir düzen oluşur. Bu sorular bir dizi (az sayıda) kurala tabi oldukları için, kendilerinden önce (ya da kendileri olmaksızın) orada bulunmayan belli bir gerçekliği meydana getirirler. Tipik bir kart oyununda dağıtılan kartlar, artık sabit ve belirli kartlardır ancak bizim oyunumuzda durum böyle değil.

İngiliz kimyacı Peter Atkins şu hassas konuya, en başta hiçbir kartın var olmadığı durumdan yola çıkılıp da kartlara sahip olma konusuna şöyle değiniyor: "En başında hiçlikti. Sadece boş bir uzay değil, mutlak bir boşluktu. Ne uzay ne de zaman vardı; çünkü bu zaman öncesiydi. Evren formsuzdu ve mutlak boşluktu. Sonra rastlantısal bir dalgalanmayla hiçlikten uç veren bir dizi nokta, biçimlendirdikleri örüntüde varlıksal yerlerini alıp zamanı belirlediler." Sonra uzay (ve böylece kartlar) benzer şekilde yaratıldı ve gerisi de geldi. Bu versiyon ilgi çekici görünüyor ancak her şeye öncülük eden başlangıç dalgalanmasının öncül bir teori olmadan (yani kart oyununun kuralları olmadan) nicelenmesinin zorluğu sıkıntı yaratıyor. Bir dalgalanmanın boyutunu ve olasılığını belirleyebilmek için genellikle daha fazla bilgiye, örneğin kuantum teorisi bilgisine yani oyunun ana kurallarından birine ihtiyaç duyarız.

Tıpkı bizim olayları tanımlamak için fizik yasalarına ihtiyacımız olduğu gibi, olayların kendileri de meydana gelebilmek için fizik yasalarına ihtiyaç duyarlar. Peki önce hangisi geliyor? Eğer önce fizik yasalarının geldiğini ve olayların nasıl baş gösterdiğini belirlediğini varsayarsak gerçekten tutarlı oluyor muyuz? Fizik yasalarının yasa olmalarının sebebi, bu yasalara uygun, tutarlı sonuçlar ortaya koyan olaylar bulunmasıdır. İşte bu yüzden olaylar, üzerlerine yasalar yazılan materyallerdir. Önce yasaların geldiğini söyleyebilmek için,

bu yasalara uygun öncül olayların olmaması gerekir, yani sonuç olarak konu yine en başında bir yasa var mı yok mu şeklinde sürüncemede kalır. Ancak, karşılıklı bilginin hiçbir bilgi olmaksızın doğabileceğini ve olayların öncül kurallar olmadan kendi hallerinde olabileceklerini gördük.

Leibniz mantığına bakalım. Evrenin en yalın hali hiçliği içeren halidir ve bu yüzden de gördüğümüz her şey Tanrı'nın varlığının kanıtıdır. Bununla birlikte bizim resmimizde başlangıçtaki hiçlik, hiçbir bilginin olmayışına tekabül ediyor. Shannon teorisindeyse bu durum tüm evrendeki sıfır entropi anlamına gelir. Sonrasında edinilen herhangi bir bilgi, zorunlu olarak doğaüstü bir varlığın kanıtı olmak durumunda değildir çünkü daha önce de gördüğümüz gibi bütüncül bilgi sıfır olsa da nihayetinde karşılıklı bilgi üretilebilir.

Gerçekliğe, iki farklı ancak birbiriyle ilişkili iki irfan[69] oku biçimiyle yaklaşırsak onu tümden yapılandırabiliriz. Evrendeki karşılıklı bilginin kendiliğinden yaradılışını ve olayların herhangi bir ön sebep olmadan baş gösterişini kabul ettik. Bu durum iki ok arasındaki ilişkiyi başlatıyor. Bir tarafta, gözlemler ve bir dizi varsayım ve çürütmeler yoluyla evrendeki bilgiyi bir dizi doğal yasaya sıkıştırıyoruz. Bu yasalar gözlemlerimizi temsil eden en kısa programlar oluyor. Öte tarafta, gerçeklik tasvirimizi meydana getirmek için bu programları işletime sokuyoruz. Sonrasında bize neyin üstesinden gelinip gelinemeyeceğini, diğer bir söyleyişle sınırlarımızın neler olduğunu söyleyen işte bu resimdir.

Evren boş haliyle ve fakat devasa bir bilgi potansiyeliyle start alır. Evrene ilk yönelimini, o ilk "simetri kırılması" eylemi, yani heykeltıraşın ilk yontuşu verir. Tamamen rastlantısal, yani öncül sebebi olmayan olarak düşündüğümüz bu ilk

69 İng: Knowledge.

edim, evrenin mini minnacık bir unsurunun, başka bir şey olmak yerine o halde oluşuna karar veren şeydir. Bu ilk olay devinim halinde bir dizi zincirleme tepkime başlatır ve bu zincir içerisinde bir kuralda karar kılındığı anda evrenin geri kalanı artık tutarlı bir davranımla devam etmeye zorunludur. Tıpkı Calvino'nun kart oyununda olduğu gibi hikâyenin bir sonraki bölümü öncekiyle tutarlı olmaya mecburdur.

Burası ilk irfan okunun başladığı yerdir. Evrendeki o spontane ve fakat tutarlı bilgi, test edilip hatalı unsurları kullanım dışı kaldıkça mütemadiyen evrilen bir dizi doğal yasaya sıkıştırılır. Tıpkı biyolojik bilginin sıkıştırılmasıyla (değişen çevre üzerinde yapılan bir dizi optimizasyon) evrilen insan gibi, evreni kavrayışımız da (gerçekliğimiz), günbegün daha da yanlışsız hale gelen doğa yasalarıyla bize sunulan bilgiyi daha da iyi sentezleyip sıkıştırdıkça evriliyor. İşte doğanın yasaları, yani irfanımızın temellendiği fiziksel, biyolojik ve sosyal ilkeler de böyle meydana çıkıyor.

Plağın öbür yüzünde ikinci irfan oku var. Doğa yasalarına sahip olur olmaz, gerçekliğimizi tanımlamak istiyor ve elimizdeki yasalarla neyin olanaklı olup neyin olmadığını anlamak adına keşiflere çıkıyoruz. Şurası zorunlu bir doğru ki gerçekliğimiz ne olursa olsun, temelinde yalnız ve yalnız bu yasaları kavrayışımız yatıyor. Örneğin doğal seleksiyon hakkında hiçbir bilgimiz yoksa, tüm canlı türleri birbirinden bağımsız yaratılmış ve belirgin bir bağlantıları yokmuş gibi gelir. Elbette bu dinamik bir süreçtir ve gerçeklik tanımımıza uymayan bir olayla karşılaştığımızda geri dönüp yasalar üzerinde değişiklik yaparız. Böylece daha sonrasında üretilen gerçeklik bu son olayı da açıklayabilir.

Bu iki okun menşeinde gerçekliğin karanlığı, içinden yaratıldıkları ve içinde iş gördükleri karanlık bir boşluk var. İlk oku takip ettiğimizde nihai bir hiçliğe (nihayetinde hiçbir ger-

çeklik olmayan, yasasız yasa olmayan hiçliğe) varıyoruz. Peşinden ikinci ok bizi bu hiçlikten uzaklaştırıp, gerçekliğin resmini birbiriyle bağıntılı bir bütün olarak çiziyor.

Görünen o ki oklarımız birbirinin zıt yönlerde ilerliyor. Bir tanesi mevcut bilgiyi az ve öz irfanın içine sıkıştırıyor, diğeriyse sonuçta oluşan sıkıştırılmış yasaları çözerek renkli bir gerçeklik tasvirine dönüştürüyor. Bu bağlamda tüm gerçekliğimiz bir dizi doğa yasasıyla kodlanmış oluyor. Evrendeki bilginin tümden aktığı bir yön bulunduğu söylemiştik. Evrendeki entropi (düzensizlik) sadece artabilir. Bu da bize evrene yaklaşım biçimimizle ilgili iyi tanımlanmış ve "zaman oku" olarak bilinen bir yönlülük kazandırıyor. Peki bizim iki irfan okumuz, zaman okuyla nasıl ilişiklilik sağlayacak?

İlk ok tıpkı Maxwell'in şeytanı gibi hareket ediyor. Zaman okuyla devamlı mücadele edip, düzensizliği daha anlamlı bir şeye sıkıştırmak için yorulmak bilmeden uğraşıyor. Görünüşte rastlantısal ve sebepsiz görünen olayları, karşılıklı ilişki içindeki olgular dizisine bağlıyor. Oysa ikinci ok tam da zıt yönde, düzensizliği artırma yönünde hareket ediyor. Gerçekliğe bakışımızı değiştirerek bize o önceki ve daha sınırlı bakış açımızdan ziyade, bu yeni bakış açısıyla yol boyunca yapabileceğimiz daha çok şey olduğunu öğretiyor.

Bizim içimizde, evrendeki tüm cisimlerin içinde bu birbirine zıt iki eğilim yatıyor. Öyleyse halimiz, yeni bilgiyle, yani evrende yaratılan düzensizlikle, bu düzensizliği küçük bir kurallar dizisiyle düzene koymak arasındaki bitmek bilmeyen bir mücadeleden mi ibaret? Eğer böyleyse bu baştan kaybedilmiş bir savaş değil midir? Nasıl yapsak da şu evrenle boy ölçüşsek?

Anahtar Noktalar

- Bilimsel irfan doğayla kurulan diyalog yoluyla ilerler. Bu ilerleyişi çok çeşitli fenomenlerle ilgili yaptığımız gözlemlere, "evet-hayır" soruları yönelterek sağlarız.
- Bu yolla bilgi, bilginin olmadığı bir durumdan yaratılır. Tam bir karanlık içindeyken yuvarlak bir tahmin yapmak suretiyle bir im (alamet) bulur ve şu "evet-hayır" soruları vasıtasıyla kavrayışımızı geliştirmek için bu imi kullanırız.
- Fiziksel teorileri yapılandırmanın temel yolu olan bu tümevarım metoduna fiziğin karanlığı adını veriyorum. Bir şeyin ne olmadığını ifade ederek ilerlediğimiz bu yol, dünyayı giderek daha iyi modellemenin esas yöntemidir. Fizik yasaları ne kadar çok bertaraf edilirlerse, çıkan sonuçlar itibariyle o denli temellenirler. Bu yaklaşımı "Bunun ve bunun olduğu yerde böyle bir süreç işlemez" ifadesiyle formüle edebiliriz.
- Benzer şekilde dinde de nihai doğruya ulaşmak için "Karşıt Yolun"[70] kullanıldığını görüyoruz. Hıristiyanlığın erken dönemlerindeki Kapadokya Papazları ve Hinduizm'deki Advaita Vedanta buna iki örnektir.
- Bütün gerçekliğimiz, öncelikle gözlemleri sıkıştırmak adına varsayımların ve çürütmelerin kullanılıp, sonrasında da bu sıkışmışlıktan tümden gelim yöntemiyle neyin olası olduğunun ve olmadığının çıkarımının yapılmasıyla meydana çıkar.

70 Via Negativa.

SONSÖZ

Bu kitap gerçekliğimizdeki her şeyin bilgiden ibaret olduğunu iddia etti. Yaşamın evriminden sosyal düzenin dinamiklerine ve kuantum bilgisayarlarına kadar her şey bilgi bitleri[71] yoluyla anlaşılabilir. Gerçekliğin en yeni unsurlarını kavramak için Shannon'ın orijinal bilgi nosyonunu açımlamamız ve bu nosyonu bitlerden kuantum bitlerine, yani qubitlere yükseltmemiz gerekti. Qubitler, kuantum teoride gözlemlerimiz sonucunda ortaya çıkan bilginin, özünde rastlantısal olması olgusunu da bünyelerinde barındırıyorlar.

Peki bu qubitler nereden geliyor? Kuantum teorisi buna bir cevap vermemizi de sağlıyor ancak beklentilerimizi pek de karşılamıyor. Teori bu qubitlerin aniden ortaya çıktıklarını söylüyor! Bilginin ortaya çıkması için öncül bir bilgi gerekmiyor. Bilgi boşluktan yaratılabiliyor. Şu çetin ceviz "yasasız yasa" sorunsalına çözüm üretirken, bilginin şu bir yasanın daima daha temel bir yasayla açıklanmasını gerektiren sonsuz döngü zincirini kırdığını da görüyoruz. Bilginin nihayetinde kuantum teoriyi kavrayışımızdan kaynaklanan bu niteliği onu, gerçekliğe bakışımızı potansiyel olarak tekbiçimli kılan

71 Binary dijit, ikili sayı.

başka kavramlardan (madde ve enerji gibi) ayırıyor. Bilgi sahiden de bu anlamda biriciktir.

Gerçekliği bilgi olarak kavramak, bilginin evrimi sürecinde birbirine rakip olan iki trendi de fark etmemizi sağlıyor. Bu trendler ya da gelin onlara oklar diyelim, el ele iş görürler ancak zıt yönleri işaret ederler. İlk ok dünyayı termodinamiğin ikinci yasası karşısında düzene koyar ve evrende spontane şekilde üretilmiş bilgiyi iyi tanımlanmış bir ilkeler dizisine sıkıştırır. İkinci ok ise sonrasında bu ilkelerden gerçekliğe bakışımızı türetir.

Tüm bu spontane bilgiyi sıkıştırırken ne denli randımanlı olursak, gerçekliğimizde neyin olası olup olmadığını açımlamakta o denli hızlı olacağımız da aşikârdır. Ancak ikinci ok olmadan, yani gerçekliğimize dair asli bir bakış açısı olmadan evreni tanımlamaya dahi başlayamıyoruz. Evrenin, gerçekliğimize karşılık gelecek bir temeli olmayan bölümlerine erişemiyoruz. Velhasıl gerçekliğimizin dışında olan şey bizim için bilinmez oluyor. Daha neyi bilmediğimizi bile bilmiyoruz!

Ama gelin bunun ötesine geçmeye, bilinmeze doğru gitmeye çalışalım. Ya gerçeklik bakışımızı üreten ikinci ok, bir şekilde birinci oku –evrenin bize verdiği bilgiyi sıkıştırışımızı- etkiliyorsa? Bu ilişki biçiminin, gerçekliğimizin evrim sürecinde kilit unsuru oluşturuyor olması pek de şaşırtıcı gelmiyor. Gerçekliğimizi açınsayarak, evrenin ürettiği bilgiyi nasıl arayacağımızı ve nasıl sıkıştıracağımızı daha iyi kavrıyoruz. Keza bu gerçekliğimizi de etkiliyor. Kavradığımız her şey, her bir irfan parçası bu iki okun birbirlerine verdiği destekle elde ediliyor. İster yaşamın biyolojik çoğalması ister astrofizik ister ekonomi ya da kuantum mekaniği olsun, hepsi de gerçekliği mütemadiyen tekrar tekrar değerlendirmeye almamızın bir sonucu oluyor. Yani sadece ikinci ok birinci oka bağlı olmakla kalmıyor, birinci ok da doğal olarak ikinciye bağlı oluyor.

Peki gerçekten karşılıklı bağlılarsa, bu bizi nereye götürüyor? Açıkça söylemek gerekirse hiçbir yere. Okların ikisi de kendi başına var olmuyor ve bir şekilde tümleyeniyle ön belirleniyor. Baştaki simetri bir kez kırılıp da bilginin olmadığı yerden (boş kümeden) bilgi çıktığında, birinci ve ikinci oklar kendi kendilerine varlıklarını sürdürebildikleri daimi bir döngü içinde rollerini oynuyorlar. Doğa yasalarımızı üretmek için bilgiyi sıkıştırır, ardından bu doğa yasalarını daha fazla bilgi üretmek için kullanırız ki bu üretilen bilgi tekrardan, nitel derecesi yükseltilmiş (upgrade edilmiş) doğa yasalarına geri sıkıştırılır.

Bu iki ok dinamiğini evreni kavrama arzumuzdan alır. Gerçekliğimizin derinlerine indikçe, evrene dair daha gelişmiş bir kavrayış edinmeyi bekleriz. Evrenin bir dereceye kadar bizden bağımsız davrandığına inanırız ve ikinci yasa bize evrendeki bilgi miktarının giderek artmakta olduğunu söyler. Peki ya gerçekliğe bakış açımızı üreten ikinci ok aracılığıyla evrenin bölümlerini etkileyip yeni bilgi yaratabiliyorsak? Diğer bir söyleyişle, varoluşumuz vesilesiyle içinde var olduğumuz evreni etkileyebiliyorsak? Böylece tarafımızdan üretilen bilgi, ikinci yasanın bahsettiği yeni bilginin bir parçası olurdu.

Çizdiğimiz resme baktığımızda böylesi bir senaryo kavramsal açıdan herhangi bir problem teşkil etmiyor. Ayrıca bu yeni bilgiye, ilk ok aracılığıyla da sahip olunabilir. Çünkü ilk ok, gelen her yeni bilgiyi varsayımlar ve çürütmeler yoluyla doğanın temel yasalarının bünyesine katmak için savaş veriyor. Peki ya evrende, kendi gerçekliğimizi yaratırken bizim tarafımızdan üretilen bilgiden başka bilgi bulunmuyorsa?

İşte bu noktadan sonra kendimizi sarsıcı bir olasılığın içinde buluyoruz. Evrendeki bu (kuantum mekaniğince tanıtlanmış olan) rastlantısallık, hakikaten de gerçekliği üretmemizin bir sonucuysa, sanki kendi yazgımızı yaratıyoruz gibi sezili-

yor. Yani sanki bir simülasyonun içindeyiz ve sanki bir program bizi ve çevremizdeki her şeyi üretiyor da üretiyor. Keanu Reeves'in kendisine gerçekliğe dönebileceği bir çıkış yolu sunulana dek bir simülasyonun içinde yaşadığı *The Matrix* filmini düşünelim. Eğer evrendeki rastlantısallık, gerçekliğimizi kendi yaratışımızdan kaynaklanmaktaysa, bizim için çıkış yolu yok demektir. Çünkü son kertede kendi simülasyonumuzun yaratıcıları duurmundayız. Böylesi bir senaryoda kendi gerçekliğine uyanan Reeves'in kendini bulabileceği tek yer, oturup kendi simülasyonunu programladığı bilgisayar masası olurdu. Bu kapalı döngüyü John Wheeler şöyle ifade ediyor: "Fizik, gözlemcinin-katılımına yol açar; gözlemcininkatılımı bilgiye yol açar; bilgi fiziğe yol açar."

Ancak gerçekliğin öz-simülatif (öz-simülatifse kendisi dışında bir evreni de gerektirmez) olup olmadığı doğası gereği asla bilemeyeceğimiz bir şeydir. Bu kitapta sunulan mantığı izleyerek ancak şunu söyleyebiliriz. Bizim gerçekliğimiz dışında evrene dair kavrayabileceğimiz fazladan bir tanımlama yoktur ve gerçekliğimizin dışı yalnızca boşluktur. Bundan dolayı da, nihai bir yasanın ya da doğaüstü bir varlığın faaliyet gösterebileceği bir alan yoktur, çünkü ikisinin de bizim gerçekliğimizin dışında, karanlıkta var oldukları farz edilir. Gerçekliğimizin içindeki her şey ara bağlantılı bir ilişkiler ağı yoluyla var olmaktadır ve bu ağın temel blok yapıları bilgi bitleridir. Etrafımızdaki gerçekliği yapılandırmak için bu bilgiyi işletime sokar, sentezler ve gözlemleriz. Bilgi spontane bir şekilde boşluktan doğdukça onu alır ve gerçekliğe bakış açımızı güncellemek için değerlendiririz. Doğanın yasaları bilgi hakkındaki bilgidir ve bunun dışında yalnızca karanlık vardır. Gerçekliği kavrama yolundaki tek geçit doğa yasalarıdır.

Sözlerimi tam 2500 yıl önce beni ayan beyan mağlup etmiş olan Tao Te Ching'ten bir alıntıyla bitiriyorum.

O dile getirilen Tao ki ebedi Tao değil.
O adı konulan ad ki ebedi ad değil.
O adsız ki göklerin ve yerin başlangıcı.
O adı konan ki on binlerce cismaninin kaynağı.
Arzusuzca gelen erebilir sırra.
Arzularıyla gelen tezahürü görür yalnızca.
Aynı kaynaktan gelen ayrı adlı iki pınar; sanki karanlık gibi görünür.
O karanlık içinde karanlık ki,
Tüm sırra erdiren geçiş kapısıdır.

NOTLAR

Bölüm 1-2

E.J Larson ve L. Witham, Scientists are stil keeping the faith, *Nature,* 386, 435 (1997). Bu makale bilim insanlarının inançlarıyla ilgili bazı istatistikler sunuyor. Bu tür istatistiklerle, konusunda son derece dikkatli olunsa da, tam sözcük yöntemine bağlı olarak sorulara verilen yanıtlar oldukça farklı olabilir. Şöyle ki "Tanrı'ya inanır mısınız?", ya da "Doğa üstü bir varlığa inanır mısınız?" ya da basitçe "Dindar mısınız?" sorularına verilen yanıtlar tamamen farklı istatistikler ortaya çıkarabilir.

I. Calvino, *Castle of Crossed Destinies* (Vintage Classics, 1997). Önemli İtalyan yazarlardan birinin yaşam üzerine yazdığı yaratıcı bir alegoridir. Calvino'nun kart oyununu, irfan kazanışımız ve gerçekliği daha iyi kavrayışımız bağlamında kitabımda ana metafor olarak kullandım. Pek çok yazar, oynadığımız oyunlar bakımından hayata dair farklı metaforlar sundu, ama benim için Calvino'nun kart oyunu hepsinden daha zengin ve daha kavrayışlı bir metafordur.

W. Poundstone, *Recursive Universe* (William Morrow, 1984). Evrene dijital bakış açısını son derece anlamlı ve genel bir tarzda savunan ilk popüler kitaplardan biridir. Bildiğim kadarıyla evreni dev bir bilgi işlemcisi olarak düşünen ilk ki-

şi Polonyalı bir bilgisayar mühendisi olan Konrad Zuse idi. Matematik hesapları II. Dünya Savaşı'nda müttefiklerin şifre kırma işlerine yardımcı olmuştu. Ancak ne yazık ki bu konuda yazdığı bir metne rastlayamıyoruz. Hikâyenin diğer tanınmış oyuncuları arasında Tommaso Toffoli ve Edward Fredkin de var.

Bölüm 3

S. Wrathmell, *Leeds* (Pevsner Architectural Guides, Yale Üniversitesi Yayınları, 2008) 2004 ve 2009 yılları arasında yaşadığım Leeds şehrinin mimari ve kültürel mirasları konusunda mükemmel bir rehber.

J.R. Pierce, *Information, Signals, Noise* (Dover, 1973). Pierce'in bilgi teorisi üzerine yazdığı bu çalışması bu konuda bildiğim en kolay ulaşılabilen kaynaktır. Onun yazdıklarını anlamak, bazı basit matematik bilgilerini gerektirir. Ama ne basit! Eğer benim kitabımda sunulan bilgi teorisi elemanları üzerine daha derin bir arama tarama yapmakla ilgileniyorsanız, bu kitabı kesinlikle okumanızı öneririm.

C.E. Shannon ve W. Weaver, *The Mathematical Theory of Communication* (Illinois Üniversitesi Yayınları, 1948). Bilgi teorisinin kutsal kitabıdır. Bu kitap hem Shannon'un orijinal makalelerini hem de Weaver'ın bu makaleler üzerine yorumlarını içeriyor.

E.C. Cherry, A history of the theory of information, *Proccedings of the Institute of Electrical Engineering,* 98, 383 (1951). Aslında benim bu kitaptaki izahatlarımı Shannon'la başlayan o kurulu bilgi teorisini açıklamaya yönelikti. Ancak bu çalışma, bu kurulu bilgi teorisine öncülük eden temel fikirlerin tarihçesini en ince detayıyla açıklıyor. Bu çalışmanın farklı vurgularla şekillenen daha kısa bir tekrarıysa The Early Days of

information theory, *IEEE Transactions on Information Theory,* 19, 3 (1973). J.R. Pierce tarafından yazılmış.

Bölüm 4

J. von Neumann, *Theory of Self-Reproducing Automata,* Arthur W. Burks tarafından düzenlenip derlenmiş (Illinois Üniversitesi Yayınları, 1963). Ekonomi, kuantum fiziği ve matematik konularında öncü bilimsel eserler yazan von Neumann sonrasında dikkatini biyolojiden esinlenen problemlere çevirdi. Bu kitapta von Neumann'ın DNA eşlenmesi hakkındaki fikirlerinin orijinal açıklamaları bulunuyor. Von Neumann'ın bütün çalışmaları gibi bu da daha çok matematiksel zekâsını çalıştıran okuyucular için iyi bir okuma olacaktır.

E. Schrödinger, *What is Life?* (Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1946). Fiziği gayet güzel basitleştirerek anlatan ve ayrıca biyolojik sonuçlara da vurgular yapan bir çalışmadır. Kitaptaki çoğu fikir üzerine yeni şeyler söylenmiş olsa da hâlâ okunması önerilir.

J. Monod, *Change and Necessity* (Vintage, 1971). Bu kitaba göre yaşam Maxwell'in şeytanlarının kopyalarını barındırıyor. Tartışmasını müthiş şevkle yürüten ve güzel açıklamalar getiren bu kitap biyoloji dalında Nobel ödülünü de kucakladı.

Bölüm 5

Bertrand Russel, *Free Man's Worship* (Routledge, 1976). Thomas Henry Huxley'in agnostik geleneğinin izinden giden Russel, bu eserinde özgür bir insanın bilimsel bilgi ışığında neleri kabul edip neleri etmemesi gerektiğini açıklıyor. Bu çalışma, bilim insanlarının ve felsefecilerin termodinamiğin

ikinci yasasına olan inançları üzerine Russel'ın alıntılamalarını da kapsıyor.

P. Atkins, *Creation* (Oxford Üniversitesi Yayınları, 1978). Bu kitap ikinci yasayla kapsanan kaos eğiliminin, aslında evrim sürecinin ardındaki temel itkisel güç olduğunu gayet açıklıyor. Düzensizlik yaşamla çelişmenin aksine onu üreten şeydir ve sanki kaos denizindeki bir vaha gibi de düşünülebilir. Kitap, evrenin fiziksel yaratımının hiçlikten doğuşunu açıklama çabasıyla da dikkate değer. Ancak kendi kitabımda öne sürdüğüm üzere bu resimde tüm fenomenin içine işleyen ve bu anlamda son derece mühim olan bilgi kavramı eksiktir. Atkins'in kitabı Richard Dawkins'e göre bugüne değin yazılmış popüler bilim kitapları arasında en iyisi!

T. Norretranders, *The User Illusion: Cutting Consciousness Down to Size* (Penguin Bilim Kitapları, 1998). Bu kitap Maxwell'in şeytan paradoksunun ayrıntılı bir tanımlamasını ve sonuçlarının hesaplamalara uyarlanmasını kapsıyor. Ayrıca kitap, bilinci bilgi teorisi yönünden kavramak adına verilen uğraşların en iyilerinden biri. Norretranders'e göre beynimiz gerçekliği kafamızın içinde imgeler olarak gösterimler. Bu gerçekliğin bir yönü de kendimiz ve kendimizin evrilen imgesi olan zihnimizdir. Kitabın başlığındaki "User Illusion" deyişi aslında bilgisayarın kendi kendinin bir illüzyonunu da yarattığını ve amacının onu kullanıcı dostu olarak görmemiz olduğunu ifade eder. Böylece bizler bilgisayarları içlerinde dosyalar, programlar, çeşitli rutinler ve benzeri şeyler olan masaüstü makineleri olarak görürüz. Ancak bir bilgisayarın tüm yaptığı şey aslında yoğun "sıfır" ve "bir" hesaplarıyla uğraşmaktır. Hiçbir bilgisayarın içinde dosyalar ya da programlar bulunmaz, bu sadece bize yönelik bir arabirimdir. Aynı şekilde bilincimiz de bize kendimizin bir arabirimini sunar. İşte olan bitenin tümü de budur, yani zihindir. Kitap bunu iddia ediyor.

Bölüm 6

R.J. Kelly, A new interpretation of information rate, *Bell Systems Technical Journal,* 35, 916 (1956). Shannon teorisinin ilk uyarlamasıdır ve riskli girişimlerle, yani kumarla ilgilidir. Hiçbir "hata düzeltiminin" maksimum kapasiteye (bu konuda maksimum finansal kazanca denk düşüyor) ulaşmak için gerekli olmaması durumu yazının ana niteliklerinden birini oluşturuyor.

E.O. Thorp, *The Mathematics of Gambling.* Thorp'un Las Vegas kumarhaneleri için yaptığı hazırlıkları ve oradaki deneyimleri üzerine notlar. Son derece basit bir anlatımla yazılmış ve internetten ulaşılabilir.

K. Sigmund, *Games of Life* (Oxford Üniversitesi Yayınları, 1993). Bir kumarhanede bahse girmekle, hayatta kalmak için çevreyle bahse giren organizmalar analojisine hayran kalmak istiyorsanız tam yerine geldiniz. Bu popüler kitapta oyun teorisinin biyolojideki rolü çok genel bir bağlamda özetleniyor.

Bölüm 7

T. Harford, *The Logic of Life* (Little Brown, 2008). Schelling'in temel fikirlerini tartışan bir bölüm içeriyor. Hoş bir anlatımla yazılan kitap çeşitli genel konulara bir ekonomistin bakış açısından yaklaşıyor.

M. Buchanan, *Nexus: Small Worlds and the Groundbreaking Science of Networks* (W.W. Norton, 2002). Sosyolojideki modern matematik yöntemler üzerine güncel bir popüler çalışma. Buchanan bir gazeteci ve çalışması konuya iyi bir giriş yapıyor. Konu üzerine biraz daha detaylı bir şeyler isterseniz size A.-L. Barabasi'nin *Linked the New Science of Networks* (Plume, 2003) isimli çalışmasını öneririm. Barabasi genel ağ-

ların fiziksel nitelikleri üzerine çalışarak büyük katkılar sağlamış bir bilim araştırmacısıdır.

J.E. Stiglitz, *Globalization and Its Discontents* (W. W. Norton, 2003). İşte size küreselleşmenin sosyoekonomik sonuçları üzerine bir kitap. Nobel ödüllü Stiglitz küreselleşmenin eğrisini doğrusunu dikkatli bir biçimde incelerken, küreselleşmenin zenginler ve yoksullar arasındaki uçurumu büyütmek yerine nasıl herkesin faydasına yönlendirilebileceği üzerine akıl da veriyor. Bununla birlikte bilgi teorisi üzerine herhangi bir şey söylemiyor.

T.L. Friedman, *The World is Flat* (Farrar, Straus and Giroux, 2005). Son derece birbirine bağlantılı bir dünyada yaşamak üzerine bir gazetecinin görüşleri. Başlıktaki 'Flatness"[1] durumu aslında herkesin herkesle bağlantılı olduğu ve tüm değişimlerin son derece büyük bir hızla yayıldığı gerçeğine gönderme yapıyor. Dünyadaki bağlantılılık üzerine yapılan bu kişisel çalışmada da bilgi teorisinden bahsedilmiyor.

Bölüm 8

W. Heisenberg, *Physics and Philosophy* (George Allen ve Unwin, 1959). Kuantum mekaniğinin temel prensipleri ve tüm klasik felsefeyi değiştirmesi üzerine mükemmel bir çalışmadır. Kuantum mekaniğinin öncülerinden biri tarafından yapılan bir *tour de force*.[2]

B. Clegg, *The God Effect* (St. Martin's Yayınları, 2006). Bu kitap güncel kuantum dolaşıklığı konusuna hem teorik hem deneysel güzel bir başlangıç yapıyor. Kuantum mekaniği ko-

1 Düzlük, düzlemsellik.

2 Fr. Güç gösterisi.

nusunun en son sürümüyle ilgilenen herkese ziyadesiyle önerilir.

S. Singh, *The Code Book* (Fourth Estate, 2000). Kriptografiyi tarihsel akışı içinde açıklayan bu popüler kitap son derece ilgi çekici örnekler sunuyor. Yazar ayrıca kuantum kriptografisinin temellerini yeniden gözden geçiriyor.

Bölüm 9

D. Deutsch, *The Fabric of Reality* (Allen Lane, Penguin Yayınları, 1997). İrfanın dört temel direği (kuantum fizik, egoist genin biyolojisi, Poppers'in varsayımları ve çürütmeleri ve Turing'in evrensel hesap teorisi) üzerinde temellenen bugünkü gerçeklik anlayışımız üzerine son derece yaratıcı bir çalışmadır.

H. Everett, *Relative State Interpretation of Quantum Mechanics* (Princeton Üniversitesi Yayınları, 1973). Shannon bilgi teorisinin kuantum mekaniğine ilk uyarlanış çalışmasıdır. Everett için ölçüm sonuçları esas olarak gözlemciler ve gözlemlenen arasındaki korelasyonlarda depolanır. Bu korelasyonlar Shannon formülü kullanılarak ölçülür. Evrenin tüm hali, farklı alt sistemler arasındaki korelasyon hallerinin devasa bir kombinasyonu olarak sunulur. Önemli olan birinin diğerine göreli (bağıl) halidir ve bu da zaten Everett'in tezinin ana başlığıdır. Evrene bu şekilde göreli (rölasyoner) bakış açısı, benim kitabımın üçüncü ana bölümünde sunduğum bakış açısının da temelini biçimlendiriyor.

G.R. Fleming ve G.D. Scholes, Physical Chemistry: Quantum mechanics for plants, *Nature,* 431, 256 (2004). Biyolojideki kuantum etkilerinin potansiyel önemi üzerine samimi bir dille yazılmış tek sayfalık bir çalışmadır. Şimdilerde bu konu giderek büyüyen bir araştırma alanı oldu.

Bölüm 10

P. Watson, *Ideas* (Phoenix, 2005). Batı uygarlığının gelişiminde üç temel fikir olduğunu iddia eden güncel bir kitaptır. Bilimsel yöntem ya da varsayımlar ve çürütmeler yöntemi bu üç temel fikirden birisi.

M. Schroeder, *Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise* (W.H. Freeman, 1992). Schroeder rastlantısallığın ardındaki basit fikirleri heyecan uyandıran biçimde aktarmakta öylesine zeki ki, bu işin uzmanlarını hoşnut ediyor.

K. Popper, *Conjectures and Refutations* (Routledge, 2002). Popper bilim insanları tarafından en sevilen felsefecidir çünkü bilim insanlarına irfan kazandıran bir yönteme açıklık getirmiş ve bu yöntemin savunuculuğunu yapmıştır.

G. Chaitin, *Collection of Essays* (World Scientific, 2007). Özsel rastlantısallığa bilgi teorisi yönüyle bakılması, bu koleksiyondaki makalelerin konusunu oluşturuyor. R, Solomonoff'un, A formal theory of inductive reference, *Information and Control,* 7, 1, (1964) isimli çalışmasıyla da yakından ilintili.

V. Vedral, 50th Anniversary Issue of the *New Scientist* (18 Kasım 2006). Bu hoş makalemde determinizm karşısındaki rastlantısallığa fizik perspektifinden bakıyorum. Bu bölümün bazı kısımları da bu makaleme dayanıyor.

Bölüm 11

Arşimet, *The Sand Reckoner* (tam bir çevirisi internet ortamında bulunabilir). Antik Yunan matematikçisi son derece ileri görüşlü bir hesaplama yapmaya girişir (Arşimet, Gauss ve Newton ile birlikte tüm zamanların en büyük üç matematik dehasından biri olarak görülür). Arşimet o zamanki Sirakuza kralına evrenin büyüklüğüyle ilgili ölçümünün ardında

yatan mantığı açıklar. Konuya evreni tamamen doldurabilecek kum tanelerini ölçüt alarak yaklaşmıştır (büyük ihtimalle o zamanlar kum tanesi en küçük madde olarak görülüyordu). Onun büyük sayıları nasıl numaralandırdığını okumak ilginizi çekebilir. Yunanlıların sıfır kavramı olmadığını hatırlayın. Yani Arşimet bir milyonu gösterebilmek için 1.000.000 yazamıyordu!

L. Smolin, *Three Roads to Quantum Gravity* (Basic Books, 2002). Bekenstein sınırı ve entropi ve alanı arasındaki ilişkiye dair iyi bir incelemedir.

J. Barbour, *The End of Time* (Oxford Üniversitesi Yayınları, 2001). Bu kitabın iddiası şu: Tüm anlam, olaylar arasındaki ilişkilerde yattığı için, zaman kendi başına var olmaz. Yani zaman, korelasyonların ötesinde var olmaz. Bu güncel kitabın ruhuna göre açımlarsak, zaman evrendeki şeylerin aralarındaki korelasyonların miktarından ibarettir. Kitap D.N. Page ve W.K. Wootters'in *Physical Review D,* 2885 (1983) isimli çalışmalarına dayanıyor.

Bölüm 12

D. Turner, *The Darkness of God* (Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1995). Kitap ortaçağ Hıristiyan mistisizminin temellerini açıklıyor. Bugünkü mistisizm algılayışımızın tersine, Ortaçağ Hıristiyan varyantı son derece rasyoneldi ve Tanrı'ya ulaşmak için gerekli olduğu söylenen şu sözde "mistik deneyimlerin" karşısındaydı. Ortaçağda çözüm Karşı Yolun (Via Negativa) tutarlı bir uygulamasında bulunmuştu. Onlar bu yöntemin bilimsel yöntemle benzerlikleri olduğunu keşfetmişlerdi.

C.G. Jung, *Synchronicity – An Acasual Connecting Principle* (Routledge ve Kegan Paul, 1972). Bu makalede rastlantısal

olarak düşünülen ancak eşzamanlı gerçekleşen olayların, bilimsel nedensellik ilkesinin ötesine geçen ilave bir ilke dolayımıyla bağıntılı olduğu iddia ediliyor. Jung'un bazı hastaları kuantum fizikçileriydi (en göze çarpan örnek kuantum fiziğinin kâşiflerinden biri olan Wolfgang Pauli'dir). Bu yüzden Jung, rastlantının modern fizikte kilit rol oynadığı olgusuyla ta ışıktı. Jung'un gemisini kör şans ve zapt edilemeyen determinizm arasında bir yerlerde yürüttüğünü görmek ilginç bir deneyim.

O. Ulfbeck ve A. Bohr, Genuine fortuitousness. Where did that click come from?, *Foundations of Physics,* 11, 757 (2001). Yazarlar burada rastlantısallığın kuantum fiziğine temel kabul edilmesi gerektiğini ve böylece sebep ve sonuç arasındaki ilişkinin zorunlu olarak hasara uğrayacağını iddia ediyorlar. Doğal bir sonuç olarak detektörlerdeki klikler rastlantısaldır ve altta yatan parçacıkların varlığına dayanak gösterilemezler. Bu bakış açısı benim kitabımın son bölümünde enine boyuna incelendi.

V. Vedral, Is reality a quantum hocus pocus, *Straits Times,* 23 Şubat 2008. Burası kuantum oyun kartlarını açtığım ilk yer. Bu oyunla beni ilk olarak Londra, University College'da fizikçi olan arkadaşım Janet Anders tanıştırdı. Oyunlarla bağlantılı olduğunu düşünebileceğimiz benzer bir kuantum fizik tasarımı da ilk olarak Wheeler tarafından ortaya konulan ve "yirmi soruluk oyunla" ilişkilendirilen tasarımdır. Burada olay, bir kişi bir cisim imgelerken diğerinin "Cisim küçük mü?", "Bir nesne mi?" ve buna benzer "evet/hayır" soruları sorarak bu cismi tahmin etmeye çalışmasından ibarettir. Sorular ilerledikçe tahminde bulunan kişi olasılıkları azaltır ve yirmi soru sonunda doğru cevabı verebilecek bir duruma gelir. Kuantum analoji şu şekilde gelişir. Sorulara cevap veren kişi en başında zihninde bir şey imgelemez ve sonrasında yirmi so-

ruya verdiği cevaplarla tutarlı evrilen bir imgeyi süreç içerisinde geliştirir. Bu elbette soruları soran kişinin işini zorlaştırmaktadır ancak sorular ustaca seçildiğinde, son kertede çok az sayıda seçeneğe ulaşmak mümkündür.

SVEN ORTOLİ – JEAN-PİERRE PHARABOD

Kuantum Fiziğinin Ufkunda Dünya Gerçekten Var mı?

Dünya'nın yapısı ile ilgili soruların seçkinlerin tekelinde olması normal olabilir mi? Modern fiziğin yani gerçek adı ile söylersek "Kuantum Fiziği"nin son derece zor olduğu ve sadece yüksek seviyedeki bilim insanlarının onu anlayabilme olanağına sahip oldukları doğru olabilir mi? Hatta bazı önemli fizikçilerin öne sürdükleri gibi bu teorinin anlaşılabilir olmadığı gerçek olabilir mi? Oysa bunun tersine bu kitabın amacı kuantum fiziği tarafından ortaya atılan tüm felsefi sorunların çözümünü herkesin bilgisine sunmaktır, elbette temel bilimsel ilkeleri net bir şekilde açığa vurduktan sonra.

Kuantum fiziği bünyesinde dev bir kültür devriminin tohumlarını barındırmaktadır ve bu devrim şimdilik sadece büyük bilim insanlarının seçkinci, özel ve dar katılımlı toplantıları ölçeğinde gerçekleşebilmiştir. Bu kitap söz konusu devrimin alanını genişletebilir ve yeni fikirlere, çoğunlukla geçen yüzyılın eseri olan ve çağdaşlarımızın da zihnini işgal eden, yarı-bilimsel inançların karmaşık yığınını süpürme olanağını verebilir.

Gerçekliğin doğası nedir?

Neden hiçlik değil de varlık var?

İşte insanlığın sorduğu, Doğu ve Batı'daki düşünürlerin yüzyıllarca kafa yorduğu derin sorular. Vlatko Vedral, kumarhanelerdeki bahis stratejileriyle kuantum ışınlanma arasında köprüler kurduğu bu neşeli kitabında, o derin anlamlar taşıyan bilgi kavramı vasıtasıyla Evren'in yapısını nasıl anlamaya başlayabileceğimizi ve gerçekliğin o salt dokusunu bir anlığına nasıl sezebileceğimizi gösteriyor.

'Bırakın Vedral sizi modern fiziğin harikalar diyarına götürsün. Orada hiçbir şeyin göründüğü gibi olmadığını anlayacaksınız. Kuantum gerçekliğin, kuantum bilgisi ve olasılığının o esrarengiz etkileşimleri üzerine okuduğum en iyi değerlendirme.'

PAUL DAVIES, 'The Eerie Silence' ve 'The Goldilocks Enigma' kitaplarının yazarı.

'Yeni kuantum bilgi teorisi ve kuantum hesaplamalarının bize hayat, evren ve her şey hakkında söylediklerinin peşi sıra çıkılan hoş ve teknik olmayan bir keşif yolculuğu.'

DAVID DEUTSCH, 'The Fabric of Reality' kitabının yazarı.

Lisans öğrenimini Imperial College London teorik fizik bölümünde tamamladı ve aynı üniversitede 'Kuantum Dolaşıklığı Bilgi Teorisi' konulu teziyle doktora derecesini aldı. Vedral 2009 yılı Haziran'ından beri Oxford Üniversitesi'nde Kuantum Bilgisi Profesörüdür. Kariyeri boyunca çeşitli uluslararası kurumlarda kürsü konuşmaları yaptı. 130'dan fazla araştırma makalesi ve iki ders kitabı yayınlandı. Popüler bilim dergilerinde ve başlıca günlük gazetelerde yayınlanan yazılarının yanı sıra, çeşitli radyo programları ve televizyon röportajları da bulunmaktadır.