

Derin Basitlik

DR. JOHN GRIBBIN

Tam zamanlı bir bilim yazarı olmadan önce Cambridge Üniversitesi'nde astrofizik bölümünde eğitim görmüştür. Nature ve New Scientist için çalışmalar yapan Gribbin ayrıca *The Times*, *The Guardian* ve *The Independent*'a bilim dalında yazdığı makalelerle katkıda bulunmuştur. Ayrıca BBC Radyo 4 için de pek çok bilim dizisi hazırlamıştır. John Gribbin yazıları nedeniyle İngiltere ve Amerika'da pek çok ödül almıştır. Şu anda Sussex Üniversitesi'nde Astronomi bölümünde misafir araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Yayımlanan pek çok kitabı arasında şunlar sıralanabilir: *Schrödinger'in Kedisinin Peşinde* (Metis Yayınları, 2010), *Stephen Hawking: Bilim Dünyasında Bir Hayat* (İnkılâp Kitapevi, 2005), *Çoklu Evrenler* (Alfa Bilim Dizisi, 2012), *İlk Şempanze* (Alfa Bilim Dizisi, 2012). John Gribbin ayrıca **Innervisions** (*İçgörü*) dahil olmak üzere pek çok bilimkurgu eserinin de yazarıdır. Doğu Sussex'te yaşayan Gribbin evli ve iki çocuk babasıdır.

ARDA BARIŞTA

1985 yılında İstanbul'da doğdu. Kadıköy Anadolu Lisesinden 2004 yılında mezun oldu. Lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Mühendisliğinde 2010 yılında tamamladıktan sonra İngiltere'de East Anglia Üniversitesi'nde lisans üstü ekonomi diploması programını bitirdi.

ALKIM KIZILTUĞ

1985 yılında Bilecik'te doğdu. 2004 yılında Kadıköy Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra İstanbul Bilgi Üniversitesi'nde Ekonomi ve Uluslararası Finans eğitimi aldı. 2 yıl süreyle Işık Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Şu anda Londra, School of Oriental and African Studies bölümünde İktisadi Kalkınma alanında yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir.

Derin Basitlik

© 2011, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Kitabın Türkçe yayın hakları **Onk Ajans** aracılığıyla Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne aittir. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılacak kısa alıntılar dışında hiçbir yöntemle çoğaltılamaz.

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak

Genel Müdür Vedat Bayrak

Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu

Dizi Editörü Kerem Cankoçak

Redaksiyon Şahin Aslan

Kapak Tasarımı Begüm Çiçekçi

Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

ISBN

1. Basım: Haziran 2013

Baskı ve Cilt

Melisa Matbaacılık

Çiftelhavuzlar Yolu Acar Sanayi Sitesi No: 8 Bayrampaşa-İstanbul

Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29

Sertifika no: 12088

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Ticarethane Sokak No: 53 34410 Cağaloğlu-İstanbul

Tel: 0(212) 511 53 03 (pbx) Faks: 0(212) 519 33 00

www.alfakitap.com - info@alfakitap.com

Sertifika no: 10905

DERİN BASİTLİK

Kaos, Karmaşa ve Yaşamın Ortaya Çıkışı

JOHN GRIBBIN

Çeviri:
ARDA BARIŞTA
ALKİM KIZILTUĞ

Jim Lovelock için

Bugün anladığımız haliyle yasalara göre, zaman ve mekân aralığı ne kadar küçük olursa olsun bir hesap makinesinin ne olup bittiğini hesap etmek için sonsuz sayıda mantıksal işlem yapması beni hep rahatsız etmiştir. Bütün bunlar nasıl bu kadar ufak bir mekânda olup bitebilir? Ufacık bir mekân ve zamanda ne olacağını anlamak neden sonsuz bir mantık gerektirir? Bu yüzden sık sık şu varsayımda bulunmuşumdur: En nihayetinde fizik hiçbir matematiksel ifadeyi gerektirmeyecek; evrenin tüm mekanizması su yüzüne çıkarılmış olacak ve yasalar, tüm görünür karmaşıklığıyla ortada duran bir dama tahtası gibi basit hale gelecek.

Richard Feynman
Fizik Yasaları Üzerine

Doğanın basitliği, bizim kavrayışımızın basitliğiyle ölçülemez. Doğa yalnızca doğurduğu sonuçlar itibariyle basittir; oysa işleyişi, çoğu zaman çok karmaşık olan çok sayıda olguyu az sayıda genel yasa aracılığıyla yaratmasına dayanır.

Pierre Laplace
1749–1827

İçindekiler

Teşekkür, 11

Giriş, 13

1. Kaostan Doğan Düzen	17
2. Kaosun Dönüşü	59
3. Düzenden Doğan Kaos	99
4. Kaosun Eşiğinde	139
5. Depremler, Yok Oluşlar ve Ortaya Çıkış	179
6. Yaşamın Gerçekleri	225
7. Ötedeki Yaşam	255

Dizin, 301

DERİN BASİTLİK

Teşekkür

Tüm kitaplarımda olduğu gibi burada da Mary Gribbin, sunulan fikirlerin bilim alanında herhangi bir birikime sahip olmayanlara da anlaşılır kılınmasında büyük rol oynadı. Penguin'deki editörümüzün ortak yazarlık konusundaki önyargısı olmasaydı, kendisinin adı kitabın kapağında yardımcı yazar olarak bile geçebilirdi.

Erişimimizi sağladıkları harikulade kütüphane ve hızlı internet hizmeti için Sussex Üniversitesine ve araştırmamıza ve ulaşım harcamalarımıza sağladıkları finansal destek için Alfred C. Munger Vakfı'na minnettarız.

Ayrıca yazar ve yayıncılar, yapıtlarının yeniden üretilmesine verdikleri izinden dolayı aşağıdakilere minnettardır:

Şekil 2.1 Edward Lorenz, *The Essence of Chaos*, University of Washington Press, 1993; Şekil 2.3, 3.1, 3.4, 3.5, 3.7, 3.8, 3.9 J. C. Sprott <http://sprott.physics.wisc.edu/fractals/chaos>; Şekil 2.2, 3.10 James Gleick, *Chaos*, Heinemann, 1988; Şekil 4.1, 5.7 Per Bak, *How Nature Works*, Oxford University Press, 1997; Şekil 4.2 James Murray, *Mathematical Biology*, Springer-Verlag, 1993; Şekil 5.2 J. Feder, *Fractals*, Plenum, 1988; Şekil 5.4 Philip Ball, *The Self-Made Tapestry*, Oxford University Press, 1999; Şekil 5.8, 5.9 Stuart Kaufmann, *At Home in the Universe*, Oxford University Press, 1995; Şekiller 7.2, 7.3 Jim Lovelock'un izniyle basılmıştır.

Telif hakkı sahiplerini korumak için gerekli tüm çaba sarf edilmiştir ve yazarla yayıncılar, dikkatlerine sunulan tüm hata ve eksiklikleri ileriki baskılarda düzeltmekten memnuniyet duyacaktır.

GİRİŞ

Karmaşanın Basitliği

Çevremizdeki dünya bize çok karmaşık görünür. Ebedi gözükken belli başlı basit doğruların mevcut olduğunu kabul etsek bile (elmanın daima havaya değil de yere düşeceği, güneşin batıdan değil de doğudan doğacağı gibi), hayatlarımız modern teknolojiye rağmen hâlâ ve dahası sık sık, ansızın ve çarpıcı değişiklikler üreten anlaşılması zor süreçlerin insafına kalmış durumdadır. Hava durumu tahminleri hâlâ bir bilim olduğu kadar bir sanattır da; depremler ve volkanik patlamalar öngörülemez şekilde ve görünüşe göre rastlantısal biçimde meydana gelir. Hisse senedi piyasalarındaki dalgalanmalarsa belli bir örüntü içinde olmadan, ani iniş ve çıkışlara neden olur. Galileo'dan beri (yaklaşık olarak 17. yüzyıl başları) bilim büyük bir ilerleme kaydetti ve bu ilerlemeyi, söz konusu karmaşıklıkları göz ardı edip elmanın neden yere düştüğü, güneşin neden doğudan doğduğu gibi basit sorulara odaklanarak gerçekleştirdi. Doğrusu bu ilerleme o kadar muhteşemdi ki 20. yüzyılın ortalarına gelindiğinde tüm bu basit sorular cevaplandırılmış oldu. DNA'nın yapısının ve kendini nesilden nesile nasıl kopyaladığının keşfi, moleküler düzeyde yaşam ve evrimi anlaşılabilir kılarken genel görelilik teorisi ve kuantum mekaniği gibi kavramlar, sırasıyla büyük ve küçük ölçekte bütün

evreni açıklanabilir duruma getirdi. Yine de insan düzeyindeki karmaşa –yaşam düzeyinde– baki kaldı. Tüm soruların en ilgi çekici olanı –yaşamın, yaşamsızlıktan nasıl meydana gelmiş olabileceği sorusu– gizemini korumaya devam etti.

Evrenin geleneksel bilimsel araştırmalara karşı koyan en karmaşık öğeleri hiç şaşırtıcı olmayan biçimde bizim ölçeğimizde yer almaktadır. Aslında biz evrendeki en karmaşık şeyler olabiliriz. Nedeni şu: Atom gibi daha küçük ölçekteki yapılar karşılıklı ilişkilerinde görece daha basit davranırlar ve ancak çok sayıda atom ilgi çekici, anlaşılması zor durumlar içinde topluca ilişkiye geçtiğinde, tıpkı insanlar gibi yine ilgi çekici ve anlaşılması bir o kadar zor olaylar meydana getirir. Yine de bu süreç sonsuza kadar süremez; çünkü sürekli daha fazla atom bir araya geldiğinde toplam kütle öyle bir seviyeye ulaşır ki kütleçekimden ötürü o ilgi çekici yapının varlığı sona erer. Bir atom veya hatta su gibi basit bir molekül, içsel yapısının küçüklüğünden dolayı; bir gezegenin iç kısmı veya bir yıldızsa, kütleçekim herhangi bir yapının varlığını sona erdirdiğinden dolayı insandan çok daha basittir. İşte bu yüzden bilim, yıldızların içsel devinimi ve atomların davranışları ile ilgili olarak, insan davranışlarıyla ilgili anlatabildiklerinden çok daha fazla şey anlatabilir.

Bir kısım bilim insanı bu basit problemlere yanıt bulurken, bir kısmı da doğal olarak karmaşık sistemlerle ilgili yap-bozlarla ilgilenmek durumundaydılar. Göreceğimiz gibi, bu tip yap-bozları çözmeye yönelik bireysel çabalar çok önceleri harcanmış olmasına karşın, karmaşık insan ölçeğiyle ilgili çalışmaların anlaşılabilir kılınması ancak 1960'lı yıllarda o günün standartlarına göre güçlü ve hızlı elektronik bilgisayarların geliştirilebilmesiyle mümkün olmuştur. Bu yeni gelişmeler de ilk olarak ancak 1980'li yılların sonunda yayınlanmış ve şimdi klâsikleşmiş olan Ilya Prigogine ile Isabelle Stengers'ın beraber yazdığı *Order out of Chaos [Kaostan Düzene]* ve daha sonra James Gleick'in yazdığı *Chaos [Kaos]* adlı kitaplar ile geniş halk kitlelerine ulaşmıştır. Eski bilimin zaferi konusunda yazmakla meşgul olduğum o günlerde bazen kaos ve karmaşa fikirlerinin üstesinden gelmeye çalışsam da bunun başımı ağ-

rıttığını fark edip konuya mesafeli kalmayı tercih ettim. Gelgelelim yaklaşık on yıl boyunca kaos teorisinin gözden kaybolmasını veya birinin bu konuda açıklayıcı bir kitap yazmasını bekledikten ve kimsenin bu konuyu açık bir dille açıklamayacağına karar verdikten sonra bunu kendim yapmam gerektiğine karar verdim. Bu da konu hakkında bulabildiğim her şeyi okumam ve bütün hikâyeyi kendi kendime anlamam gerektiği anlamına geliyordu. Tam o esnada bunun çok da zor olmadığını keşfettim. Hem görelilik teorisinin hem de kuantum teorisinin, ilk zamanlarda konu hakkında uzman olmayan kişiler tarafından anlaşılmasının çok zor olduğu kabul ediliyordu. Oysaki her ikisi de sadece matematiğe itimat etme niyetinde olanlara bile gayet basit gelecek fikirlerle temellendirilmişti. Aynı durumun kaos ve karmaşa için de geçerli olması gerektiğini ve bunun şaşırtıcı olmayacağını düşünüyordum; ta ki ne anlama geldiğiyle ilgili mesajı net olarak aldığım ve çok iyi hatırladığım o ana kadar. Aldığım mesaj şuydu: Bazı sistemler (burada "sistem" ile kastedilen herhangi bir jargondur: saat sarkacı, Güneş Sistemi veya musluktan damlayan su gibi) kendi başlangıç koşullarına son derece duyarlıdır. Bu nedenle de başlangıçta verdiğiniz, sistemi harekete geçiren ilk dokunuşa ilişkin küçük farklılıklar, sonunda varacağınız yerle ilgili büyük farklılıklara yol açar. Bununla birlikte bir geri-bildirim durumu mevcuttur ve bu sayede sistem de kendi davranışını etkiler. Her şey gerçek olamayacak kadar güzel ve bir o kadar da basit gözüktüğünden, doğru yolda olup olmadığını tanıdığım en zeki insan olan Jim Lovelock'a sordum. Tüm bu kaos ve karmaşa düşüncesinin temeli, sistemin kendi başlangıç koşullarına olan duyarlılığı ve geri-bildirim gibi iki basit düşünceden mi ibaretti? Evet, aldığım cevaba göre bütün hikâye buydu.

Bütün hikâyenin bundan ibaret olduğunu söylemek, biraz da, ışığın tüm gözlemciler için aynı hızda olduğunu söyleyerek özel görelilik teorisini açıklamaya benzer. Bu da aslında doğrudur, basittir ve anlaşılması kolaydır. Bununla beraber bu basit gerçek üzerine inşa edilmiş yapının karmaşıklığı sarsıcıdır ve tam olarak anlaşılabilmesi biraz matematik bilgisi gerektirir. Görelilik teorisinin özünü bilimle hiç haşır neşir olmayan

insanlara bile anlatabilme tecrübemden ve kaos ile karmaşayı temellendiren basit gerçekleri fark etmemden hareketle, aynı-sını bu konuda da yapabilmem konusunda cesaretlendim. Sonuca varmak tamamen kendi elinizdedir ve kaos ile karmaşayı en basit şekilde derinden başlayarak açıklamaya yönelik bir çabaya bağlıdır. Kavranması gereken; kaos ve karmaşanın, özü itibariyle Isaac Newton'un üç yüz yıldan daha fazla süre önce bulduğu o basit ve bilindik yasalara riayet ettiğiidir. Bu yeni gelişmeler, bazılarının size inanmayı telkin ettiği gibi dört yüz yıllık bilimsel çabayı tersine çevirmekten ziyade, uzun sürede oluşturulmuş bu basit yasalara dayanan bilimsel anlayışın (önceden bildirilemese de) hava durumunu, hisse senedi fiyatlarını, depremleri ve hatta insanları izah edebildiğini gösterir. Sizi de ikna etmeyi umuyoruz ki, kaosun ve basit sistemlerde karmaşanın ortaya çıkışıyla ilgili çalışmalar, yaşamın kökenini açıklayabilmenin tam eşiğindedir. Gerek Murray Gell-Mann'a ithaf edilen şekilde gerekse Richard Feynman'ın kitabın kapağında öne çıkardığı gibi, çevremizdeki dünyanın –hatta yaşayan dünyanın– anlaşılması güç davranışı yalnızca “derinlerdeki basitlikten ortaya çıkan yüzeydeki karmaşa”dır.¹ İşte bu kitabın konusu tam da karmaşaya temel oluşturan o basitliktir.

John Gribbin,
Ocak 2003

¹ Örneğin Roger Lewin tarafından *Complexity* adlı kitapta alıntılanmıştır.

1

Kaostan Doğan Düzen

17. yüzyıldaki bilimsel devrimin öncesinde dünyaya, bugün bilim insanlarının terimi kullandığı bağlamdan biraz farklı, ama çoğu insanın günümüzde kullandığı anlamda bir “kaos” hükmediyormuş gibiydi. Dünyanın karışıklığını temellendirenin basit ve sistemli yasalar olabileceği kimsenin aklına gelmiyordu. Havanın ve rüzgârın davranışları, kıtlıkların meydana gelişi ve gezegenlerin yörüngeleri hakkında yapılan akıl yürütmelerin vardığı yer, en nihayetinde bütün bunların, Tanrı’nın veya tanrıların keyfine kalmış olduğuydu. Evrende düzenin nereden kaynaklandığı sorusuna cevap olarak, fiziksel nesnelere bir harmoni ve düzen ihtiyacına her nerede olursa olsun tepki vermesi gösteriliyordu. Evrenin merkezinde yer aldığı düşünülen dünyanın etrafındaki gezegenlerin ve güneşin yörüngelerinin dairesel olduğu varsayılıyordu; çünkü daireler kusursuzdu. Nesnelere yere düşüyordu; çünkü dünyanın merkezi evrendeki simetrisinin ve aslında her şeyin merkezindeydi, dolayısıyla da en güçlü cazibe noktasıydı. Hatta MÖ 3. yüzyılda yaşamış olan Samoslu filozof Aristarkhos, dünyanın güneş etrafında döndüğünü söylediği sıralarda bile yörüngesinin dairesel olduğuna inanıyordu.

Bu örnekler antikçağ bilimi ile Galileo sonrası bilim arasındaki önemli farkları görmemizi sağlar. Antik Yunanlar harika matematikçilerdi, bilhassa da iyi geometricilerdi ve hareketsiz nesnelere arasındaki ilişkileri gayet iyi kavramışlardı. Bu geometri bilgilerinin kökeni kendilerinden de önceki toplumlara dayanıyordu. Nitekim bilimin ilk olarak tarih öncesi çağlarda gelişmekte olan tarımsal toplumların yaşamsal deneyimlerinden –bina inşa etme, şehir kurma ve toplum karmaşıklaştıkça ortaya çıkan toprağı parsellere bölme gibi ihtiyaçlarından– ortaya çıktığını tahmin etmek çok da zor olmasa gerek. Yine de antikçağ bilim insanlarının, nesnelere nasıl hareket ettiği ve hareket yasaları hakkında bir fikri yoktu. Sadece Zeno'nun “ok ile asla öldürülemeyen asker” gibi ünlü paradokslarından kafalarının ne kadar karıştığına bakmamız bile bunu anlamak için yeterlidir. Paradoksa göre, asker bulunduğu yerden kaçmaya başlarsa, askerin ilk durduğu yere ok eriştiği anda asker bir miktar mesafe kat etmiş olacaktır. Ok, bu ekstra mesafeyi de kat ettiği andaysa asker biraz daha uzaklaşmış olacak ve bu olay asker mesafe kat ettikçe devam edecektir. Diğer bir deyişle okun askeri vurması olası görülmemektedir.

Aristarkus gibilerinin varlığına rağmen, Nicolaus Kopernik 1543'te güneş-merkezli (fakat hâlâ dairesel temelli) evren modelini geliştirdikten sonra bile dünya-merkezli evren görüntüsü (ya da bilim insanlarının bugün kullandığı şekliyle “modeli”) geçerli kaldı. Kopernik, *De Revolutionibus Orbium Coelestrum [Göksel Kürelerin Devinimleri Üzerine]* adlı kitabını aslında 1530'da tamamlamıştı ve kitabın içeriği daha kitap yayınlanmadan önce geniş bir biçimde ele alınıp tartışılmıştı. Martin Luther bunun üzerine 1539'da “Bu budala, astronomi bilimini tamamen ters yüz etmeye çalışıyor; ancak kutsal kitap der ki: Joshua dünyanın değil güneşin sabit durmasına hükmetmiştir.” diyerek düşüncesini dile getirdi. Benzer eleştirilere cevaben Galileo ise: “İncil bize cennete gitmenin yolunu gösterir, göklerin nasıl hareket ettiğini göstermez.” şeklinde sert bir yanıt verdi. Çağdaş Galileo olarak kabul edebileceğimiz Johannes Kepler, Tycho Brahe tarafından özenle derlenmiş gözlemlerden faydalanarak, Mars'ın güneş etrafında dönmek-

te olduğunun yanı sıra bu dönüşü eliptik bir yörünge üzerinde yaptığını da -öğrenmeye niyeti olanlara- izah etti ve Antik Yunanların çok sevdiği, "dairesele mükemmelliğin evreni yönettiği" sanrısını yerle bir etti.

1564 ile 1642 yılları arasında yaşamış olan Galileo, bilim ve bilim tarihi hakkında çok az fikir sahibi olan insanlarca bile bugün, gökyüzünü ilk kez teleskopla inceleyen, güneş- merkezli Kopernik modelini destekleyici kanıtları bulan ve Katolik Kilisesi'ni karşısına alıp sapkın ilan edildikten sonra bu baskı neticesinde kitaplarını su gibi sattıran adam olarak tanınır. Galileo'nun yaptıkları elbette bunlarla sınırlı değildir. Gözlem ve tecrübeleri sonucunda karşılaştırmalı teoriler (veya modeller) de dahil bilimsel araştırma yöntemlerini ortaya koyan ve "hareket"i bilimsel bir şekilde ciddi olarak ilk ele alan da aynı sapkın Galileo'dur.

1583 yılında Pisa'da tıp öğrencisiyken yaptığı keşif, Galileo'nun hareketle ilgili çalışmalarına öncü oldu. Katedraldeki sıkıcı bir vaaz esnasında şamdanın bir ileri bir geri salınmasını izlerken nabzıyla bu salınımların zamanını ölçtü. Bu ölçümlerinde lambanın, sallanırken çizdiği yayın uzun veya kısa olmasına bakmaksızın bir salınımı aynı sürede tamamladığını fark etti. Sonraki deneylerindeyse sarkacın salınımı tamamladığı sürenin, sarkacın ne kadar uzağa sallandığına değil, onun boyuna bağlı olduğunu gösterdi. Bu, saat sarkacının temeliydi; ama bir saat yapmasına gerek dahi kalmadan (ki ileriki yıllarda oğlunun yapacağı bir saati kendisi tasarlamıştı) daha sonra eğik düzlemden yuvarlanan topların davranışını incelerken de sarkacı kronometre olarak kullanmayı başardı. Bu deneyler Galileo'nun zekâsına ve bilimsel metoduna yönelik başka bir kavrayış geliştirmemizi sağladı. Galileo kütleçekimin hareket üzerindeki etkisini araştırmak için düşmekte olan nesnelere üzerinde çalışmayı arzu etti; ama düşer haldeki toplar, onun izlemesine imkân vermeyecek kadar hızlı hareket ediyordu. Bu nedenle topları eğimli bir rampadan aşağı doğru yuvarladı ve topların kütleçekim etkisi altında yaptığı düşüşün daha yavaş ve daha zamana yayılmış olduğunu fark etti. Galileo bu deneyler aracılığıyla ivme kavramını geliştirdi. Bir

nesnenin sürati (veya hızı) onun belirli bir zaman içerisinde (diyelim ki bir saniyede) ne kadar uzağa hareket ettiğini ifade eder. Örneğin 9,8 m/s'lik sabit bir hız, o nesnenin her saniyede 9,8 metrelik bir mesafeyi kat ettiğini belirtir. Buna ilaveten Galileo, düşmekte olan nesnelerin (ya da yokuştan yuvarlanan topların) her bir saniyede hızlarını artırarak daha da çabuklaştığını keşfetti. Çarpıcı biçimde, deneyler hızın her saniyede aynı miktarda arttığını gösterdi. Bu "düzgün ivme"ydi ve 9,8 m/s/s'lik düzgün bir ivme (kaldığı yerden başlamak üzere); nesnenin hızının ilk saniyede 9,8 m/s'ye, ikinci saniyede 19,6 m/s'ye, üçüncü saniyede de 29,4 m/s'ye çıkacağı ve bunun böyle devam edeceği anlamına geliyordu. Bu belirli örneği bilerek seçtim; çünkü 9,8 m/s/s bize aslında dünya yüzeyinde düşen bir nesnenin kütleçekimden kaynaklanan ivmesini verir. Bunun da nedeni, zamanın iki kere hesaplanıyor oluşu, diğer bir deyişle ikinci dereceden bir etki oluşu, hızın ise birinci dereceden bir etki oluşudur. Kütleçekime bağlı bu ivme de sarkaçların, döngülerini tamamlama davranışlarını açıklar.

Galileo bir şey daha yaptı ki bu yaptığı, kitapta bahsettiğimiz hikâyenin temelindeki şeyin ta kendisiydi. Eğimli düzlemde aşağı doğru yuvarlanan topların, sürtünme sebebiyle ufak bir yavaşlamaya maruz kaldığının farkına vardı. Aslında ölçtüğü şey kusursuz bir düzgün ivme değildi; ancak topların, sürtünme etkisi olmasaydı ideal ve kaygan bir eğimde nasıl hareket edebileceğini esas gözlemlerinden ortaya çıkararak çağına göre büyük bir atılım gerçekleştirdi. Bu çeşit akıl yürütme, sonraki dört yüzyıl boyunca bilimsel araştırmanın da merkezinde yer alacaktı. Bilim insanları, özellikle de fizikçiler, dünyayı matematiksel yasalar bağlamında tanımlamaya çalıştıklarında, bu yasaları varsayımsal nesnelerin (mesela birbirlerinden sektiklerinde deforme olmayan ve sürtünmeye maruz kalmadan düzlem üzerinde yuvarlanmaya devam eden kusursuz katı kürelerin) davranışlarını açıklamak için formüle ettiler. Yine de Antik Yunan filozoflarının aksine, kendi kusursuzluk tasvirlerinin gerçek dünyayı temsil etmediğinin farkındalardı. Daha sonraları bu denklemlerin bilincinde olarak, gerçek dünyadaki kusurlulukları (örneğin hava direncinin

düşmekte olan nesneye etkisini) hesaba katmak için düzeltme katsayıları gibi terimleri literatüre kazandırmanın yolunu açtılar. Hava direnci, nasıl olup da bir çekiç ile bir tüyün dünyada farklı hızlarda; fakat –Apollo astronotlarının gösterdiği gibi– atmosfersiz olan ayda aynı hızlarda düştüğünü net bir şekilde ortaya koyar.

Tüm bunlar Galileo'nun, seleflerinin gerçek hayatta var olduğunu düşündükleri geometrik kusursuzluğun başka bir yönünü bilim sahnesinden indirmesine yaradı. Galileo'dan önce bir top, mermisini yatay düzlem üzerinde herhangi bir açıda ateşlediğinde, merminin namludan çıkışıyla önce düz bir çizgiyi, ardından bir süre için kusursuz bir dairenin yayını izleyeceği ve en sonunda dikey olarak yere düşeceği düşünülürdü. Hareket yalnızca düz çizgilerin ve dairelerin gözde canlandırılan kusursuzluğunu içeriyordu. Kütleçekimin sabit düşey bir ivme ürettiği keşfini top mermisine uygulayışı ve topun namludan çıkıştaki ilk hızını göz önüne alışı vasıtasıyla Galileo, topun hedefe varıncaya kadar izleyeceği esas yolun, bir parabolün parçası olan düzgün bir eğri olduğunu gösterdi. Aynı hesaplamalar, bir topun azami menzilin, (atış şiddeti ve barut miktarını sabit kabul edersek) ancak top yatay düzleme 45 derecelik bir açıyla ateşlendiğinde elde edileceğini ortaya koydu. Bunlar, Galileo'nun yaşadığı çalkantılı dönem için büyük önem taşıyan pratik hususlardı ve askeri ilerlemeye sunduğu bu katkı onun ilk etapta itibar sağlamasına önyak oldu. Kusursuzluk hakkında filozoflar ve dinbilimciler ne derse desin, savaş meydanındaki orduların, dairesel hareketlerin cazibesiyle alakalı laf ebeliği yapmaya vakitleri yoktu. Askerlerin cephede tek bilmek isteyecekleri şey, namlularını doğrulttuklarında yaratabilecekleri maksimum etkinin nasıl sağlanacığıydı ve Galileo onlara bunu gösterdi.

Isaac Newton'un (1642-1727) evrensel kütleçekim kanunu, Kepler'in eliptik yörüngeler keşfi ve Galileo'nun hem ivme hem de 17. yüzyılın –belki de tüm zamanların– en büyük bilimsel keşfine yol veren bilimsel metodunun bir kombinasyonuydu. Newton'un muazzam çalışması *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (ya da kısa adıyla *Principia*) [*Doğal Felsefe-*

nin Matematiksel İlkeleri] 1684 ile 1687 yılları arasında yazıldı ve 1687'de yayınlandı. Bu kitabın yazılmasından 20 yıl önce, kendisi Trinity Kolejinde çalışma yoluna girmiş Cambridge mezunu müstakbel bir akademisyenken üniversitesi vebadan kapanınca annesinin Lincolnshire'daki evinde dört ay boyunca deyim yerindeyse hapis kalmıştı. Bu çalışma da tam o dönemde geliştirdiği fikirlere dayanıyordu. Tıpkı Galileo gibi Newton da teoriler ve modelleri gerçek dünyaya dair deney ve gözlemlerle karşılaştırmanın önemine vurgu yapmıştı. Bulduğu her fırsatta da fikirlerini sınamak adına ilgili deneyler gerçekleştirdi. Bu durum, bugünkü bilimsel metodun bir parçası olarak öyle bir yer etti ki sadece bilim insanları tarafından değil, herkes tarafından kanıksandı. Bunun yanında Newton, 17. yüzyılda bile çoğu filozofun, fiziksel dünyanın doğasıyla ilgili deneylere hiç bulaşmadan soyut yöntemlerle bu derece fikir yürütebilmesine alan açmış olmasından dolayı bile takdir edilesidir. Bu konuda klasikleşmiş bir örnek, farklı ağırlıktaki iki maddenin aynı yükseklikten bırakılması durumunda aynı anda yere düşüp düşmeyeceği tartışmasıydı. Farklı ağırlıkların 10 metre yükseklikten bırakıldıklarında aynı hızla düştüklerini deneylerle gösteren ve bu deneylerin sonuçlarını 1586 yılında yayınlayan Flaman mühendis Simon Stevin'dan sonra bile, on yıllar boyunca bu tartışma soyut düşünürler arasında sürüp gitti.¹

Newton da, Galileo'nun basitleştirilmiş modeller (sürtünmesiz düzlemler gibi) kavrayışını kabul edip bu kavrayışı gerçek dünyanın belirli görünümelerini tanımlamak adına belirginleştirdi. Örneğin Newton kütleçekim hesaplamalarında Mars, ay ya da elma gibi nesnelerin kütlelerinin tek bir noktada yoğunlaştığını kabul etti. Bu çalışmalarda –söz konusu nesnenin dışında olmamız şartıyla– o nesnenin kütleçekimsel etkisini, bizim o noktaya, diğer bir deyişle nesnenin kütlelerinin merkezine (nesne bir küreyse aynı zamanda geometrik merkezine) olan

¹ Bu arada Galileo'nun bizzat kendisinin, Pisa'daki eğik kuleden böyle bir deney gerçekleştirdiği yönünde kanıt yoktur. Bu efsanenin kökeni –taparcasına sevdiği Galileo'nun yaşlılıktan gözleri görmez olunca daha 17 yaşındayken onun kâtibi olan– Vincenzo Viviani tarafından yazılmış renkli biyografisine dayanır.

uzaklığımız üzerinden hesapladı. Bunun küresel nesnelere için de geçerli olduğunuysa *Principia*'da kanıtladı. Aslında Newton dünyanın kusursuz bir küre olmadığını biliyordu (hatta dünyanın kendi eksenini etrafında dönüştüğü nedeniyle ekvator da ne kadar şişkin olduğunu hesaplıyordu); ama dünyayı (güneşi, Mars'ı ve diğerlerini) ilk etapta küresel bir nesne olarak varsaymanın, akabinde de yörüngeleri buna göre hesaplamasının mantıklı olacağını hissetmişti. Sonraki hesaplamalarda, yeterince uzak olmanız şartıyla düzgün olmayan nesnelere bile –kütleçekimsel açıdan konuşursak– gerçekten de tüm kütleleri tek bir noktada yoğunlaşmışçasına davrandığını ortaya koydu. Yine de bu durum, hesaplamaları apaçık kılmak adına, gerçekler yerine idealize edilmiş kestirimlerin gerekli veya yardımcı olduğunda kullanılmasının önemini ortadan kaldırmıyordu.

Bu husus aslında göze çarptığından çok daha fazlasını barındırır. Newton *Principia*'da, küresel bir nesnenin kütleçekimsel etkisine, sanki nesnenin tüm kütlesi merkezinde yoğunlaşmış gibi yaklaşmanın doğru olduğunu geometrik tekniklerle kanıtladı. Bu geometrik tekniklerle Newton'un çağdaşları da haşır neşir olduğu gibi aynı tekniklerin Antik Yunanlar tarafından kavranması da gayet olasıydı. Şimdi biliyoruz ki Newton, *Principia*'yı yazmadan uzun bir süre önce şu an kalkülüs olarak adlandırılan matematiksel tekniği geliştirmişti (ya da keşfetmişti) ve bu ispat kalkülüs sayesinde çok kolayca anlaşılabilirdi. Kimi akademisyenlerse Newton'un gerçekten de kalkülüs sayesinde problemi çözdüğünden ve akabinde çağdaşlarının kendisini anlamasından emin olmak adına her şeyi klâsik terminolojiye çevirme zahmetinde bulunduğundan şüphe ederler. Durum gerçekten de böyle olsaydı Newton bir anlamda kendini ayağından vurmuş olurdu; çünkü yeni bulduğu matematiksel teknik konusunda sessiz kalarak, tekniği ondan bağımsız biçimde kendi de keşfetmiş olan (ve bu tekniğe bugün kullandığımız adını da veren) Alman Wilhelm Leibniz ile girebileceği şiddetli bir münakaşada haksız çıkmanın yolunu boşu boşuna açmış olurdu. Leibniz bu kavrama Newton'dan kısa bir süre sonra sahip olmuştu; ancak çalışmasını yayınlayarak

akliselim davranmıştı ve bu da erken davranma konusundaki tartışmayı alevlendiriyordu (Aynı tartışmalar iki başkahramanın da ödün vermeye razı olmamasından ve Newton'un nispeten daha kaba, kendi yetenekleri konusunda kibirli ve kendine rakip olarak gördüklerine karşı kindar oluşundan kaynaklanıyordu). Aslında kimin erken keşfettiğiyle ilgili tartışmalar çok da önemli değildir. Burada esas konu kalkülüsün, problemleri matematiksel olarak kullanılabilen küçük bileşenlerine ayırıp bu sonuçların birbirine eklenmesiyle problemin geneline bir çözüm bulabilen bir teknik oluşudur. Örneğin küre, hem sonsuz sayıda hem de ölçülemeyecek kadar küçük madde parçalarına ayrılmış ve bu madde parçalarından birinin kütleçekimsel etkisini, küredeki konumu bağlamında tanımlayan bir denklem olarak kabul edilebilir. Tüm madde parçalarının birlikte devinim halinde oluşunun toplam etkisi daha sonra bu denklemde bir araya getirilebilir veya entegrali alınabilir.²

Bu tip bir süreç zamana da uyarlanabilir. Örneğin okun uçuşu, okun izlediği yol boyunca sonsuz sayıdaki noktanın herhangi birisindeki hareketinin tanımıyla ayrıştırılabilir. Aynı şey oktan kaçan askerin izleyeceği yol için de yapılabilir. İki diferansiyel denklem, entegralleri alındığında, ok ile adamın nerede karşılaşacağını bize kesin olarak ve hiçbir paradoksa yer bırakmaksızın söyleyecektir. Kalkülüs yaygın bir şekilde anlaşıldığında, Newton ve Leibniz'in zamanı ehliştirmiş oldukları düşünüldü. Nasıl Antik Yunanlar statik nesnelere arasındaki ilişkileri kesin olarak açıklayabildiyse, Newton ve Leibniz de zamanı ehliştirecek, hareket eden nesnelere davranışlarını aynı kesinlikle açıklamayı en azından prensipte mümkün kılmıştı. Tek bir yıldızın yörüngesini takip eden tek bir gezegenin veya tek bir oktan kaçmaya çalışan tek bir adamın düzeyinde kalkülüs kolaydır; ancak aynı temel kurallar geçerli olsa dahi

² Arşimet'in asırlardır kayıp olan el yazmalarından birinin tek kopyasının 20. yüzyılda tercüme edilmesi, bu büyük Yunan matematikçinin bu çeşit bir entegralin özünü iki bin yıl önce geliştirmiş olduğunu ortaya çıkardı. Newton ve Leibniz'in tabii ki bundan haberi yoktu; ancak bu durum aralarındaki didişmenin önemini de bambaşka bir boyuta taşır.

karışık sistemlerle uğraşırken kalkülüs de karışıklaşır. Bu tip bir sistemi tanımlamak için bir grup diferansiyel denklemi kâğıda dökmek gayet anlaşılır olsa da bu denklemlerin çözülmesi (veya entegrallerinin alınması) yeni problemler yaratır.

1680'lerde "gizlice" hangi matematiksel teknikleri kullanmış olursa olsun Newton, *Principia*'da çağdaşlarına benzer teknikler kullanarak gezegenlerin güneş etrafında eliptik yörüngeler izlemesi (teori ve gözlemin uyuşması) için kütleçekimin ters kare yasasına göre davranması gerektiğini kanıtlar. Daha açık söylemek gerekirse, birbirlerine belli mesafede bulunan (mesafeyle kastedilen her bir nesnenin kütle merkezinden ölçülen mesafedir) iki kütle arasındaki çekim kuvveti, o iki kütle değerinin birbiriyle çarpımının birbirlerine uzaklıklarının karesine bölümüyle doğru orantılıdır ki bu da ters kare yasasının ta kendisidir. Hesaplamaya giren orantının "sabit"i kütleçekim sabitidir ve kütleçekimin gücünü ifade eden bu sayı G ile gösterilir. Sembollerle ifade edecek olursak: $F = \frac{GMm}{r^2}$

Bu durum Newton'un çağdaşlarına çok da sürpriz olmadı. Hepsi de Kraliyet Topluluğu'nun³ üyeleri olan Robert Hooke, Edmond Halley ve Christopher Wren zaten ters kare yasasının eliptik yörüngeler üretebileceğinin farkındaydı. Newton'un başarısı sadece ters kare yasasının bunu yapabileceğini kanıtlamaktı ve dolayısıyla kütleçekim de bu yasaya tâbi *olmak zorundaydı*; ama Newton daha da ileri gitti. Onun çalışmaları bunun bir *evrensel yasa* olduğuna işaret ediyordu. Bu yasa sadece ağaçtan düşen elmaya, dünyanın etrafında dönen ay veya güneşin etrafında dönen gezegenler için geçerli olmakla kalacak bir yasa değildi ve yaz-kış, gece-gündüz, her zaman geçerliydi. Aynı zamanda bu yasa, evrenin herhangi bir yerinde herhangi bir tür maddenin, evrenin herhangi başka bir yerindeki herhangi başka tür bir maddeye uyguladığı çekim kuvveti için de geçerliydi. Evrenin, dünyamıza karışan kaprisli tanrılara yer olmayacak kadar düzenli bir yer gibi görünmesini sağlamasına ilaveten Newton başka üç yasayı daha bilimin

³ Londra Royal Society [Kraliyet Topluluğu], farklı bilimsel alanlarda uzman kişilerden oluşan ve bilimsel araştırmalara kaynak sağlayan bir kurumdur –çn.

hizmetine sundu.⁴ Bu yasalar, laboratuvarında, dünya genelinde veya Güneş Sistemi ve ötesinde hareket eden nesnelere davranışlarını açıklayan hareket yasalarıydı ve daha da ötesinde her zaman her yerde geçerli olan evrensel yasalar olarak kabul edilmeliydi.

Bunlar üç yüz yıllık bilimi destekleyen hareket yasalarıydı; ama çok basit bir şekilde özetlenebiliyor ve dünyaya bilimsel açıdan bakmanın ilerleyişini gözler önüne seriyordu. Newton'un ilk yasası der ki: Her nesne ya hareketsiz kalır ya da bir kuvvetle karşılaşana kadar düz bir çizgi üzerinde hareket eder. "Hareketsiz kalma" hikâyesi ortak akla, diğer bir deyişle dünyada her gün karşılaştığımız durumlara uygundur. Nesnelere, herhangi bir şey onları harekete geçirmede sabittir; ancak düz bir çizgi üzerinde sabit hareket hikâyesi sağduyuyla çelişebilir. Bu dünyada nesnelere harekete geçirdiğimizde ve kendi hallerine bıraktığımızda nesnelere yere çarpar ve durur. Galileo'nun düşüncelerini bir adım öteye taşıyan Newton'un kavrayışı, o nesnelere sadece dışsal bir kuvvet (kütleçekim) yüzünden yere düştükleri ve başka kuvvetler (sürtünme) yüzünden de durdukları yönündeydi. Newton bugün aşına olduğumuz, bir uzay aracının içindeki sıfır kütleçekim durumunda ve neredeyse sürtünmesiz ortamda, kendi bulduğu yasalarına tâbi nesnelere hiç görmeden dahi sürtünme ve diğer dış kuvvetler ihmal edildiğinde, dünyanın nasıl bir halde olabileceğini öngörmüştü.

İkinci yasasıysa bir nesnenin hareketinin, ona uygulanan kuvvetten ne kadar etkileneceğinden bahseder. Yasa der ki: Bir kütleğe uygulanan kuvvet şu basit denklemle gösterilebilecek bir ivmeye sebep olur: $F=ma$ veya $a=\frac{F}{m}$. Güneşin etrafındaki bir gezegenin yörüngesini açıklayan veya tanımlayan da, bu yasa ve beraberinde kütleçekim yasasıdır. Birlikte bu iki yasa, Galileo'nun gözlemlediği ve tanımladığı düşmekte olan nes-

⁴ Muhtemelen şu konuya parmak basmak yerinde olacaktır: Ancak 1609 yılında Johann Kepler, bir şeyin gezegenleri güneş etrafındaki yörüngelerinde tutuyor olması gerektiğini fark ettiğinde bu şeyi "Kutsal Ruhun Kuvveti" olarak tarif etti ve kimse de onu alaya almadı.

nelerin davranışını da açıklar. Dünyanın kütle sine M dersek o zaman dünya yüzeyindeki herhangi bir kütle ye uygulanan kütle çekimsel kuvvet de kendi kütle si m ile doğru orantılıdır ($F = \frac{GmM}{r^2}$) ancak bu kuvvet nedeniyle oluşan ivme F 'nin m 'ye bölünmesiyle elde edilir. Bu nedenle, m kütle si denklemden düşer ve kütle çekim etkisinde düşmekte olan her nesne, dünya yüzeyine yakınken aynı oranda ivmelenir. Ayın yüzeyinde veya başka herhangi bir yüzeyde de farklı oranda ivmelenirler; ancak birbirleriyle yine eşit bir ivmeye sahip olurlar.

Üçüncü yasanın söylediği, bir nesnenin üzerine uygulanan her kuvvetin kendisine eşit ve karşıt bir kuvvet ürettiğidir veya Newton'un diliyle konuşacak olursak, her etki [aksiyon] için eşit ve zıt bir tepki [reaksiyon] vardır. Bu durumun tipik bir örneği, bir tüfek içindeki mermiyi yollamak için etki uygulandığında tüfeği tutan keskin nişancının omzunda tepme şeklinde bir tepki oluşmasıdır. Masaya yumruğunuzu vurduğunuzda vuruş kuvvetinize eşit bir tepkiyi açık şekilde hissedersiniz. Diğer örnekler kadar açık gözükmesine de güneş, kütle çekim vasıtasıyla bir gezegene kuvvet uyguladığında gezegen de sanki bu iki nesne gergin bir lastikle birbirlerine bağlanmışçasına eşit ve zıt bir kuvveti güneşe uygular. Ağaçtan düşen bir elma dahi dünyayı ufak bir miktar da olsa kendine doğru çeker. (Hem elmaya hem de dünyaya aynı kuvvet uygulanıyorsa bile bu çekiş; ivme, kuvvetle doğru ancak kütleyle ters orantılı olduğundan ve dünyanın kütle si elmanınkinden çok daha büyük olduğundan çok ufak bir miktardadır.) Yörüngeler söz konusu olduğundaysa, sadece dünyanın yörüngesindeki ay değil, dünya ve ayın her ikisi de ortak kütle merkezleri etrafındaki bir yörüngededirler. Dünyanın kütle si ayın kütle sinden çok daha fazla olduğundan beraberce yörüngesinde oldukları bu kütle merkezi dünya yüzeyinin bile altındadır.

Bu yasalar, uzayda hareket eden gezegenler ve onların uydularında olduğu gibi dünyada gerçekleşen olaylarda da aynı şekilde geçerlidir. Newton'un bu yasalarının eyleme dökülüşüne güzel bir yaklaşım olan bardo masası örneğine ileride değineceğiz. Oysa şimdilik gezegenlerin davranışları üzerinde

yoğunlaşacağız; çünkü Newton'un dünyayı tanımlayışıyla ilgili sorunlar, kendisi bu düşünceleri geliştirir geliştirmez belirdi. Bu sorunlar yüzyıllar boyunca halı altına süpürüldü; ama "kaos" fikrinin çağdaş bilimsel anlamda ilk emareleri, yörüngesel mekanik mecrasında eninde sonunda ortaya çıkacaktı.

Sorun biraz da –kütleçekim yasası dahil– Newton'un yasalarının, iki nesnenin birbirleri etrafındaki yörüngelerini (ayın dünya çevresindeki veya dünyanın güneş çevresindeki yörüngesi gibi) tam olarak hesaplayabiliyor olmasına rağmen, aynı yasaların üç ya da daha fazla nesnenin ortak kütleçekimsel kuvvetlerinin hesaplanışına cevap veremiyor oluşundan kaynaklanıyordu (dünya, güneş ve ayın hep beraber uzay içinde hareket ediyor oluşu gibi). Bu durum "üç cisim problemi" olarak adlandırılmasına rağmen aslında, ikiden daha fazla sayıdaki tüm cisimler için bir sorun teşkil ediyordu. Dolayısıyla da daha genel olarak fizikçiler bu yüzden sorunu, N ikiden büyük herhangi bir sayı olmak kaydıyla, " N cisim problemi" olarak da tarif etmeyi tercih ettiler. Bu tip sistemleri tanımlayan denklemler kâğıda dökülebilir, ancak çözülemezler; ayrıca entegralleri alınamaz ve analitik çözümlerinin olmadığı, bir diğer deyişle matematiksel analiz tekniklerinin bunlarla uyumlu olmadığı söylenir. Öte yandan analitik yoldan çözülebilen denklemlerinse belirlenimci olduğu söylenir. Örneğin tek bir gezegenin yörüngesini tanımlayan denklem belirlenimcidir ve elips yapısında analitik çözümler barındırır. Şunun hakkını vermemiz gerekir ki üç cisim problemlerinin çözümlerinin olmayışı matematikçilerin insani yetersizliğinden daha çok, bu eksikliğin matematiğin yasalarının içine gömülü olmasından kaynaklanır.

Bununla birlikte, problemin etrafından dolaşma yolları da açıktır. Bu yollardan biri kestirim yöntemleridir. Gerçek anlamda birbirleri etrafındaki bir yörüngede bulunan üç cisim için, tekrar eden adımlar halinde hesaplamayı yapmak mümkündür. En başta, cisimlerden birinin hareketsiz olduğunu varsayıp diğer ikisinin kendi yörüngelerinde kısa bir mesafeyi nasıl kat ettiklerini hesaplarız. Daha sonraysa bu yeni pozisyonlardan başlayarak diğer bir cisim hareketsiz tutulurken

öteki ikisinin hareketini hesaplar ve bunu üçüncü cisim için de tekrar etmek yoluyla bir sonuç elde ederiz. Elde edeceğimiz sonuçlar mükemmel olmayacaktır; çünkü aslında bu üç cisim birlikte ve aynı anda hareket etmektedir. Yine de bu adım adım ilerleyen süreçteki zaman dilimini ne kadar kısaltırsak hesapladığımız yörüngeler gerçek yörüngelere o kadar yakın olacaktır. Güneş, kendi sistemindeki gezegenlerin hepsinden de o kadar büyüktür ki kütleçekimsel etkisi baskındır ve ilk yaklaşım olarak diğer gezegenlerin etkisi ihmal edilebilir. Böylece örneğin Mars'ın yörüngesi, diğer gezegenlerin var olmadığı varsayıldığında tam bir elips şeklinde hesaplanır. Mars'ın gerçek yörüngesi, bu gezegenin hareket denklemleri için bulunan analitik çözümlerden ufak farklılıklar gösterir; ancak bu farklılıklar, Jüpiter ve Satürn gibi büyük gezegenlerin etkisiyle kolaylıkla açıklanabilir. Benzer şekilde, ayın dünya etrafındaki yörüngesi de ilk etapta çok uzaklarda olan güneşin etkilerinin ihmal edilmesi ve sonrasında düzeltme olarak eklenmesi yoluyla hesaplanabilir. Tüm gezegenleri ve onların birbirileri üzerindeki etkilerini kapsayan, hepsi birbiri ardına gelen düzeltmelerin zahmetli bir hesaplamasına girişecekseniz (ki bugün hızlı bilgisayarlar vasıtasıyla bunu yapmak nispeten kolaydır), ilgilendiğiniz gezegen ya da uydunun gözlemlenen asıl yörüngesine yakın çok iyi bir kestirime varabilirsiniz. Ne var ki istediğiniz bir gezegenin veya uydunun, gözlemlenen asıl yörüngesinde sonsuza dek nasıl hareket edeceğini tahmin etmeye dair kesin bir matematiksel çözüme *asla* ulaşamazsınız. Her zaman bir hata payı olacaktır. Ayrıca, bu üç nesne aynı boyutta (aynı kütlede) ve birbirlerine kabaca eşit mesafedeyse üç cisim problemi tamamen çözümsüzdür. Analitik çözümlerin yokluğuyla ifade edilen, doğanın "kendisinin" zaman içinde yörüngelerin nasıl bir değişim (evrim) geçireceğini bilmemesidir. Güneş Sistemindeki gezegenler için dahi, yörüngelerinin her zaman bugün olduğu şekilde kalmaması ve gerçek anlamda tahmin edilemeyecek yollara sapması ihtimali mevcuttur.

Newton bunun farkındaydı; ama dini inançları Ortodoks Kilisesi'nin öğretileriyle tamamen uyuşmasa da oldukça dini bütün bir insandı. Buna ilaveten, gezegenler aşına oldukları yö-

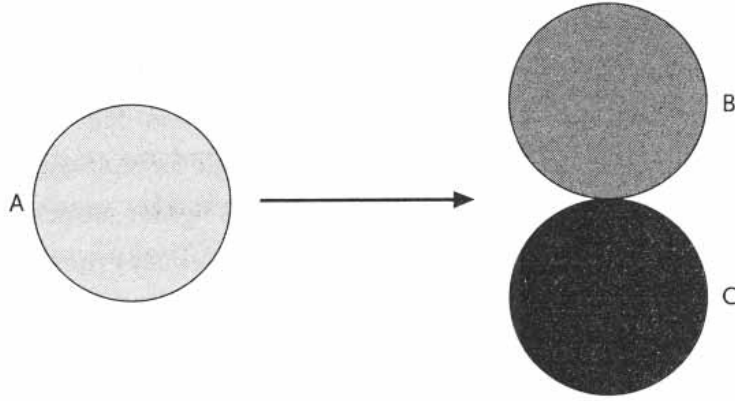
rüngelerinden saparlarsa (sarmallar çizip güneşe yaklaşarak veya uzayın derinliklerine doğru uzaklaşarak) Tanrı'nın işleri tekrar yoluna sokmak için müdahale edebileceğini öne sürerek sorunu en azından kendi kafasında çözüme ulaştırmıştı. Ancak Newton'un bu yaklaşımı Leibniz'den ani bir karşılık gördü. Leibniz, Newton'un düzenli ve belirlenimci evreniyle basit bir saat arasındaki benzetmeyi alaya aldı. Newton'un Tanrı'sını, zamanı istikrarlı bir şekilde gösteren bir saat üretmekten aciz ve bu yüzden de saat bozulduğunda müdahale etmek zorunda kalan bir tasarımcı olarak tarif edip bu beceriksiz Tanrı'yı küçümsedi.

Bu yapbozun parçaları, 18. yüzyılın sonunda Fransız matematikçi Pierre Laplace (1749-1827) Güneş Sisteminin düzenini çözmüş gibi görünene kadar yerine oturtulamadı. Laplace önce Güneş Sisteminin en büyük iki gezegeni olan Jüpiter ve Satürn'ün yörüngelerini (daha önce bahsettiğimiz adım adım zahmetli işlemler vasıtasıyla) hesaplamaya ve güneşten sonraki en kuvvetli kütleçekimsel etkiyi hem birbirlerine hem de diğer küçük gezegenlere uygulamaya yoğunlaştı. Satürn'ün yörüngesi daralırken Jüpiter'inin ufak çapta genişlemekte olduğunu fark eden Laplace, Newton'un çalışmalarını da sekteye uğratan etkiyle karşı karşıya geldi. Sonrasındaysa Laplace bu değişimlerin, iki gezegenin birbirleri üzerindeki kütleçekimsel etkilerindeki ritmik bir değişimle ilintili olduğunu ve bu ritmik değişimlerin de güneşin etrafında Jüpiter beş tur atarken Satürn'ün iki tur atmasından kaynaklandığını keşfetti. Bu şu anlama geliyordu: Bu iki büyük gezegen her elli dokuz yılda bir birbirlerine en yakın konuma geliyordu. Laplace, Newton'un yasalarını ve iterasyon (adım adım yenileme) tekniğini kullanarak bunun tüm etkisinin, iki gezegenin yörüngelerinde her 929 yılda bir görünen değişikliklerin tamamını tersine çevirmek olduğunu hesapladı. Bir diğer deyişle keşfettiği şey, Jüpiter'in yörüngesinin genişlediği ve Satürn'ünkinin daraldığı 929 yılı, Satürn'ün yörüngesinin genişleyip Jüpiter'inin daraldığı bir başka 929 yılın takip ettiğiydi. Laplace, Güneş Sisteminin düzenini çözdüğünü düşünerek Napolyon'a "Tanrı hipotezi"ne ihtiyaç kalmadığını ifade eden ünlü deyişini ilettili:

Önceleri evrensel kütleçekim yasaları vasıtasıyla açıklanamaz gibi gözükten bu iki gezegenin düzensizliği, artık bu yasalara en sağlam kanıtı oluşturmaktadır.

Laplace ileride göreceğimiz gibi sadece bir noktaya kadar haklıydı. Yine de, aynı tür bir kararlılık diğer gezegenler ve Güneş Sisteminin tamamı üzerinde de etkindi ve böylece 19. yüzyıldan itibaren Newton'un yasaları, Güneş Sistemi ve daha geniş anlamda evrenin, dışarıdan bir müdahaleye gerek kalmaksızın kusursuz bir saatin kararlılığı ve güvenilirliğiyle işlediğini açıklamış oldu. Newton'un yasalarının başarısı, fizikçilerin birçok sorunu çözmesine yardımcı oldu ve üzerine modern bilimin inşa edildiği bir temel haline geldi. On dokuzuncu ve yirminci yüzyıllarda fizikçiler, bahsettiğimiz denklemlerin analitik çözümlerinin var olmadığı birçok durum bulunduğunun farkında olsalar da denklemler belirlenimci olduklarında bunları çözdüler; belirlenimci olmadıklarında da kestirim tekniğini kullandılar. Bu şekilde, yola getirilemeyen yap-bozlar konusunda da büyük ilerleme kaydettiler. En nihayetinde, zor yap-bozlar üzerine kafa yormadan önce kolay olanları çözmek çok daha doğaldır. Yine Newton'un denklemlerinin ötesindeki sorunlara (en azından bu gibi problemlerin mevcut olduğunu hatırlatmak adına) kafa yorup Newton'un yasalarının başka türde bir üç cisim problemi karşısında yetersiz kaldığına dikkat çeken çok az kişi vardı.

Bu problem, bilardo masasındaki üç topun çarpışmasıyla resmedilebilir. Hareketli bir top hareketsiz bir diğer topa çarparsa (veya her iki top da hareketli olsa dahi) Newton'un yasaları –topların kütlelerini, hızlarını biliyorsak ve sürtünmeyi görmezden gelmekle hesaba katmak arasında karar verdiğimiz–topların çarpışmadan sonra tam olarak nasıl davranacağını açıklamak için kullanılabilir. Bununla birlikte iki hareketsiz top birbirlerine temas edecek şekilde konumlandırılırsa ve hareketli olan top bu iki topa aynı anda –Şekil 1.1'deki gibi– tam ortalarından çarpacak olursa genel anlamda Newton'un yasaları, topların çarpışmadan sonra ayrı ayrı nasıl davranacağını



Şekil 1.1: *Tam elastik bir küre, birbirine dokunan iki adet tam elastik küreye aynı anda çarparsa bu üç kürenin nereye gideceğini tahmin etmek Newton'un yasalarıyla imkânsızdır.*

açığa kavuşturamaz.⁵ Birbirine temas eden iki toptan herhangi biri diğerinden daha önce vuruşa maruz kalırsa, iki vuruş arasında saniyeden çok daha az bir süre farkı bulunsa bile, yasalar üç topun da nasıl davranacağını açıklamakta zorlanmaz.

Oysa bu tam eşzamanlı bir çarpışma için yetersiz kalır. Pratikte bu çarpışmanın gerçekten de eşzamanlı olma ihtimalinin çok düşük olduğu fikrinin savunulmasıyla bu zorluktan sıyrılmak mümkün olabilir. Oysaki basit bir sarkacın salınımindan tutun, bir uzay aracının aya uçuşuna kadar her şeyin açıklamasında başarılı olan yasaların, halen basit durumların sonuçlarını tahmin edemiyor oluşu can sıkıcıdır.

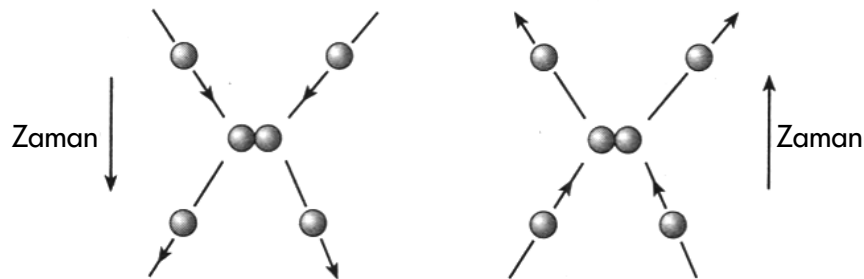
19. yüzyılda gerçek anlamda kimse bu konu üzerine eğilmedi. Herkes, hem Newton'un yasalarını hem de belirlenimci ve düzenli bir evrenin genel görünümünü ortaya çıkarmak için Galileo ve Newton'un geliştirdiği bilimsel yöntemleri uygulamakla meşguldü. Laplace halihazırdaki bu hususu, 1814'te yazdığı *Essai philosophique sur les probabilités [Olasılık Üzerine Felsefi Denemeler]* adlı eserinde şöyle özetliyordu:

Öyle bir zekâ düşünün ki doğanın kapsadığı tüm varlıkların anlık durumlarının yanında doğayı kontrol

⁵ Aynı durum, üç hareketli top aynı anda birbirleriyle çarpışılırsa da geçerlidir; fakat bu problemi yola getirmek daha da zordur.

eden bütün kuvvetlerin hakkında her an bilgi sahibi olsun. Bu zekâ tüm bu veriyi analize dökebilecek kadar güçlü olsaydı, evrendeki en büyük cisimlerin de en hafif atomların da hareketlerini tek bir denklemde bir araya getirebilirdi. Bu durumda belirsiz hiçbir şey kalmayacağından, onun gözünde geleceğin ve geçmişin bugünden farkı kalmazdı.

Bu zekânın çağımızdaki karşılığı bir süper-bilgisayar olurdu. Bu süper-bilgisayar evrendeki tüm parçacıkların konumlarını ve hızlarını bilen, ayrıca Newton'un yasaları ve doğadaki kuvvetleri açıklayan diğer yasaları –sadece her parçacığın gelecekteki konumunu tahmin etmek için değil, aynı zamanda nereden geldiklerinin tüm tarihçesini çözümlmek için de– hiç şüphesiz kullanabilirdi; çünkü Newton'un yasalarında zamanın yönünü açığa kavuşturan hiçbir şey yoktur. İki bilyardo topunun çarpışmasını ve gezegenlerin yörüngeleri etrafındaki hareketini, kasetin geriye sarılmış haliyle gözümüzün önüne getirirsek yasaların ters yönde de işleyeceğini rahatlıkla anlayabiliriz. Yasalarda zaman okuna yer olmayışı Laplace ve diğer birçok bilim insanının, bu yasaların geçmişin ve geleceğin birbirine sıkı sıkıya kenetlendiği ve içinde özgür iradeye yer olmayan, tamamıyla belirlenimci bir dünya tarif ettiği öngörüsüne kapılmalarına neden oldu. Bu kişilerin hiçbirinin fark etmediği şeydu: Evrende herhangi bir yer ve zamanda üç parçacık arasında eşzamanlı bir çarpışma meydana gelirse bu temel sav çöker. Ben yine de bunun özgür iradenin varoluşunu kanıtlayıp kanıtlamadığını tartışmayı filozoflara bırakmayı uygun görüyorum.



Şekil 1.2 Newton'un yasalarına göre bir çift nesne arasındaki çarpışmalar tam olarak tersinirdir. Yukarıdaki çizim, "zaman oku"nu ne tarafa çevirirsek çevirelim akla yatkındır.

Zamanla ilgili aynı yap-boz 19. yüzyıl fiziğinin en büyük zaferlerinin birinden ortaya çıkmıştır. Bu zafer, ışığın ve elektromanyetik radyasyonun diğer çeşitlerine dair Scot James Clerk Maxwell (1831-1879) tarafından sağlanan kavrayıştır. Maxwell, elektromanyetik radyasyon tanımlamasını “mıknatıs ve elektrik yüklü nesnelere saran elektrikselsel ve manyetik alanlar” fikrinin babası Michael Faraday’ın (1791-1867) çalışmaları üzerine inşa etmiştir. Böyle bir alan, derslikte bile gerçekleştirilecek basit bir deneyde görülebilir. Bahsedilen deneyde demir tozları, bir mıknatısın üstünde yatay vaziyette tutulan bir parça kâğıdın üstüne serpilir. Kâğıt nazikçe hareket ettirildiğinde demir tozları, mıknatısın iki manyetik kutbunu birleştirecek şekilde bir çizgi halinde dizilir ve bu tozlar manyetik alanla ilgili bu sözde kuvvet çizgilerini temsil etmiş olur. Işığın, mıknatısla ilgili bu kuvvet çizgilerinde ve zorlanan keman yayları gibi tıngırdayan elektrik yüklü parçacıklarında bir çeşit titreşimle üretilmiş olabileceği fikrini ilk dile getiren Faraday’dır. Faraday’ın matematiksel yetersizliği, bu fikri tamamen çalışan bir model haline getirememesine neden oldu ve bunu başarmak 1860’larda Maxwell’e düştü. Maxwell, o esnada bilgi sahibi olunan, ışığın davranışı dahil tüm elektrikselsel ve manyetik olguların şu anda Maxwell’in denklemleri olarak bilinen sadece dörtlü bir denklem kümesi aracılığıyla açıklanabileceğini gösterdi. Bu denklemlerin elektromanyetik alanların ve radyasyonun kavranışına katkısı, Newton’un yasalarının katı maddelerin kavranışına yaptığı katkıyla eşdeğerdi. Aynı denklemler karmaşık durumlarda çok büyük zahmet gerektirse de prensipte her şeyi tanımladı ve elektromanyetik etkileşimin sonuçlarını hesaplamayı mümkün kıldı. Maxwell’in denklemleri dinamoların ve elektrik motorlarının nasıl çalıştığını, bir pusulanın neden kuzeyi gösterdiğini, birbirlerine belirli uzaklıkta bulunan (elektriğin de manyetiğin de kütleçekim gibi ters kare yasasına tâbi olduğu zaten biliniyordu) iki elektrik yükünün arasındaki kuvvetin ne miktarda olduğunu ve daha birçok şeyi açıkladı. Newton ve Maxwell, 19. yüzyılın ortalarında fizik bilimine dair bilinen her şeyle baş etmek için gereken matematiksel araç donanımını sağladılar. Maxwell’in

denklemleriyle ilgili en harika şeyse bu denklemlerin, ışığın bir tanımını kendiliğinden ortaya koyuyor olmasıydı. Denklemler, elektromanyetik olguları açıklamak için kurulmuş olsa da boşlukta ve belirli bir hızda yolculuk eden bir elektromanyetik dalganın çözümünü de kendi içlerinde barındırıyordu. Bu hız, ışığın bir elektromanyetik dalga şeklinde yolculuk ettiğine dair hiçbir şüphe bırakmayacak şekilde ışığın ölçülen (1860'larda çoktan kabaca belirlenmiş ve yakın zamanda kesin olarak ölçülecek olan) hızına tamı tamına karşılık geliyordu.

Maxwell'in denklemlerinde göze batan iki nokta vardı. Bunlardan birinin yakın zamana kadar sadece ufak bir tuhafılık olduğu düşünülürken, diğerinin fizik üzerinde ani ve derin bir etkisi olacaktı. Denklemlerin ilk göze batan özelliği şuydu: Denklemler; ışığın hızını, ölçen kişiye ya da makineye göre kaynağın nasıl hareket ettiğinden bağımsız olarak ölçüyor ve bu hızı bir "sabit" olarak veriyordu. Denklemlere göre bir feneri bana doğru tutarsanız, ikimiz de ışığın hızını sabit bir değer olan " c " olarak ölçebiliriz. İkimiz de sabit duruyorsak sorun yok; ama ben yüksek bir hızla bile sizin yanınızdan geçersen her ikimiz de fenerden gelen ışığın hızını hâlâ c olarak ölçeriz. Bu, ben size yaklaşırken de (sağduyunun etkisinde kalarak, c ile size göre benim hızımın toplamı şeklinde bir sonuç bulmam gerektiğini tahmin edebilirsiniz) sizden uzaklaşırken de geçerlidir (Sağduyuya göre size göre bağıl hızımın c 'den çıkarılması gerekir). Einstein'ı 1905 yılında özel görelilik teorisini inşa etmeye iten ve bir on yıl sonra da genel görelilik teorisine geçiş yapmasına yönlendiren şey Maxwell'in denklemlerinden çıkan bu gereklilik, başka bir deyişle ışığın hızının tüm gözlemciler için –nasıl hareket ettiklerinden bağımsız olarak– sabit olması gerektiğidir. Buna rağmen bu kitapta, hareketli nesnelerin davranışı ve kütleçekimi Newton'un teorisinden daha kapsamlı açıkladığı, diğer bir deyişle "var olduğu" gerçeğini kabul etmek haricinde, görelilik teorisine değinilmeyecektir. Bu teori Newton fiziğini tersine çevirmek veya yok saymaktan ziyade Newton'un fikirlerini kapsar ve Newton'un teorisinin yetersiz olduğu durumlarda (özellikle çok yüksek hızlarda seyreden nesnelere ve güçlü kütleçekimsel alanlarda bulunan

nesneler için) fiziksel dünyanın tanımını genişletir. Öte yandan örneğin dünyanın güneş etrafındaki hareketinin tanımı bağlamında Newton fiziği, yüz milyonda birlik bir ölçekte ve hatta insan ölçeğindeki olayların tanımlanmasında çok daha hassas ve hatasızdır.

Maxwell'in denklemlerinin de, özellikle atomların ve atomları oluşturan parçacıkların davranışı gibi çok küçük ölçekteki olayların tanımlanmasında kendi sınırları vardır. Bu noktada, hem elektromanyetik etkileşimlerin klâsik (Maxwell) tanımlanışı hem de parçacık etkileşimlerinin klâsik (Newton) tanımlanışı düzeltilmelidir ve kuantum fiziğinin yasaları devreye girmelidir. Kuantum etkileri (ya da en azından belirli bir kuantum etkisi) hikâyemize küçük bir rolde de olsa sonradan girecektir. Burada üzerinde durduğumuz neredeyse her şey, Newton mekaniği vasıtasıyla tanımlanabilir (ve belki de anlaşılabilir). Maxwell'in denklemleri bile sadece diğer tuhaf özelliği nedeniyle bahsedilmeye gerçekten değerlidir.

Maxwell'in denklemlerinin bu diğer tuhaf yanı, bu denklemlerin de Newton'un denklemleri gibi zaman okunu barındırmıyor oluşudur. Konu, elektrik yüklü parçacıkların kendi manyetik alanlarındaki hareketleri olduğunda zamanın yönünü tersine çevirmeyi hayal etmek başımıza pek de iş açmaz. Yine her şey, Maxwell'in denklemlerinin ve Newton'un yasalarının tanımladığı fizik yasalarına uygun olarak cereyan edecektir. Ne var ki denklemlere göre, bir lambadan çıkan ışık dalgasının yayılması ile zamanın tersine çevrilmesi sonucu ışık dalgasının lambaya yakınsaması arasında bir fark yoktur. Bu olay bize ancak, bilardo masasında etrafa dağılmış topların, sürtünmeden kazanılan enerji kullanılarak tekrar düzgün bir üçgen haline gelmesi ve beyaz topa, hareket etmeye başladığı nokta olan istekanın ucuna yollayacak şekilde vurulması kadar tuhaf gelecektir. Yine de her iki ihtimal de ancak Newton'un ve Maxwell'in denklemlerinin birleştirildiği yasalarla mümkündür. Açıkça, zaman okuyla alakalı bir tuhafılık olduğu kesindir.

Zamanı, neden tercih ettiğimiz yönde gördüğümüz konusunda uzun zamandır hâkim olan standart açıklama da 19. yüzyıl fiziğinin bir diğer büyük zaferinden –ısı ve hareket

arasındaki ilişkinin tanımlanışından (termodinamikten)– doğmuştur. Bu, endüstrinin buharlı makinelerle sürdürüldüğü dönemde çok temel bir pratik önem teşkil ediyordu. Bizim bakış açımızdan termodinamik biliminin önemi, karmaşık denebilecek bir sistemde birlikte işleyen büyük miktarlardaki nesnelere –özellikle de gaz parçacıklarının– davranışlarını tanımlamaları adına fizikçilere bir yöntem sağlamış olmasından gelir. Bu tanımlayış ortalama alma ve istatistik gerektirir; ancak büyük oranda dayandığı fikir, bir gazın, Newton’un yasalarına uygun biçimde etrafta gezinerek hem birbiriyle hem de içinde bulunduğu kabın duvarıyla çarpışan çok küçük sayısız parçacıktan (atom ve molekül) oluştuğudur. Bu –diğer bir deyişle gazların kinetik teorisi– fiziğin evrensel yasalarının, kaostan içinden nasıl bir düzen çıkardığının belirgin bir örneğini oluşturur. “Gaz” sözcüğü Flaman fizikçi Joannes (Jan) van Helmont tarafından Yunanca “kaos” sözcüğünden türetilmiştir. Bu terim (gaz) ilk olarak, van Helmont’un yazdığı ve ölümünden 4 yıl sonra oğlu Franciscus tarafından 1648’de basılan *Ortus Medicinae* adlı kitapta kullanılmıştır. “Bir kaos olarak gaz” (gazın bir kaosu temsil ettiği) fikrinin üzerinde üç yüz yıl boyunca mutabık kalındı. Bu mutabakat, İngiltere’de çalışan Maxwell ve Viyana’da çalışan çağdaşı Ludwig Boltzmann, önceleri spekülatif bir düşünceden ibaret olan kinetik teoriyi Newton’un yasalarını temel alan sağlam bir bilimsel dayanağa oturtana kadar devam etti. Örnek vermek gerekirse içinde bulunduğu kabın duvarlarına bir gazın uyguladığı basınç, gaz parçacıkları duvara çarpıp gazın hacmine geri döndükçe oluşan etki ve tepki (Newton’un üçüncü yasası) bağlamında açıklanıyordu. En basitinden, çok sayıda parçacığın söz konusu olmasından ve bu parçacıkların her saniye korkunç sayıda çarpışma meydana getirmesinden dolayı bu durum, sürekli bir basınç meydana getirir. Kibrit kutusu büyüklüğündeki bir kutudaki gazın içerdiği molekül sayısı kabaca 10^{24} ’tür. (Bir diğer deyişle 10 ve yanında 23 tane 0.) Bu sayı o kadar büyüktür ki o kutunun, olduğundan 10 kat büyük veya küçük olması çok da önemli değildir. Atmosferde bulunan, deniz seviyesindeki ve 0 °C’deki tipik bir hava molekülü her saniyede yaklaşık dört milyon çar-

pışma gerçekleştirir.⁶ Tüm bunlar havanın, sürekli bir ortam olduğu yanılığını yaratır ve ayrıca –Laplace aklında ne canlandırmış olursa olsun– Newton’un yasalarına tâbi kalarak her bir molekülün izlediği yolun hesaplanması yoluyla gazın davranışını çözümlene çabasını beyhude kılar. Ortaya çıkan sorun N 'nin 10^{24} olduğu bir N cisim problemidir. İstatistik de işte tam burada devreye girer.

Bir gazın (ya da diğer herhangi bir sistemin) içindeki çok sayıdaki atom ve molekülün davranışını tanımlamak için istatistiksel bir yol kullanılarak mekanik yasalarının uygulanışı, istatistiksel mekanik olarak bilinir duruma geldi. İstatistiksel mekaniğin gelişiminin arkasındaki itici güç, yalnızca deneylerde değil, gündelik yaşamda da (örneğin dışarıdan bir müdahale olmaksızın ısının daha sıcak bir nesneden daha soğuk olana doğru geçmesi) gözlemlenen termodinamik hususlarını bilimsel olarak tanımlama ihtiyacıydı. Isının sıcak nesneden soğuk olana geçmesi günlük dilde, sıcak nesnelere soğuması olarak ifade edilir. Gerçekte, bir buz parçasını sıcak bir yüzeye yerleştirdiğimizde buz ısındıkça eriyecektir; ama sıvı haldeki suyun, dışarıya ısı verdiği zaman eski buz parçası haline geldiğini asla görmeyiz. Ne var ki bu olay Newton’a kalsa, başlı başına atomların ve moleküllerin hareketi ele alındığından, kendilerini üçgen halinde toplayan bilye topları örneğindeki gibi mümkün gözükecekti. Bir başka deyişle aslında gündelik dünyada yerleşik bir zaman oku vardır. Bu yön de, termodinamik ve istatistiksel mekaniğin yasalarıyla sıkı sıkıya bağlıdır.

Bahsedilen yasalar nesnelere gerçek dünyadaki davranışlarının gözlemlenmesiyle geliştirilmiştir. Bu gelişim süreci; elmanın ağaçtan asla yukarı değil her zaman aşağı düşüşünü gözlemleyişimizle başlayarak, bunu bir doğa yasası olarak adlandırmamızı, daha sonra nasıl ivmelendiklerini ve hangi hızla düştüklerini ölçmemizi, bu gözlemleri diğer nesnelere de yaymamızı (ay ve Mars gibi) ve eninde sonunda bu davranışı (söz konusu durumda kütleçekim yasasını) tanımlayan matematiksel denklemleri bulmamızı kapsar. Termodinamik için

⁶ 10^{24} ; 1 milyarın, 1 milyar ve 1 milyon ile çarpımına eşittir.

başlangıç noktası ısının katı maddeler içinde nasıl iletildiğinin araştırılmasıdır. Bu araştırmalar 1811'e doğru Fransa'da Joseph Fourier tarafından, çalışmalarından dolayı Fransız Bilimler Akademisi'nde ödüllendirildiği dönemde yürütüldü. Fourier ısının transferini tanımlayan basit bir matematiksel yasa keşfetti. Bu yasa der ki: Isının akışı sıcaklık farkıyla doğru orantılıdır ve (tabii ki) ısı her zaman bir nesnenin en sıcak ucundan en soğuk ucuna doğru akar. Galileo'nun düşmekte olan nesnelere ivmesi yasası kütleçekimsel teoreminin gelişimi içinde ne kadar önemli bir yer tutuyorsa, bu basit yasa da termodinamiğin gelişimi içinde o kadar önemli bir yer tutar. Ayrıca kütleçekim yasası gibi Fourier'in bu yasası da evrensel ve aslında maddelerin neyden oluştuğuna bakmaksızın katılarla birlikte sıvı ve gazlar için de geçerlidir. Yine de (yerçekiminden kaynaklanan ivmenin aksine) farklı kimyasal maddelerin ilişkilerindeki orantı sabiti farklıdır. Isı metalde, tahtada olduğundan çok daha hızlı hareket eder ki çoğu insan bunu doğrudan karşılaştığı acılı tecrübeleri sayesinde öğrenmiştir.

Araştırma konusu olarak ısı akışına doğrudan katkısı bir yana, Fourier'in bu basit yasayı keşfi fiziksel dünyanın doğasına yönelik derin bir kavrayış sağladı. Bir insan ölçeğinde ele alınabilecek kadar büyük bir nesnenin (diğer adıyla makroskobik nesnelere) bütün özelliklerini tahmin etmeye çalışmak atom ve molekül düzeyinde umutsuz bir çaba olurdu. Zira bütün parçacıklar arasındaki etkileşim o kadar karmaşıktır ki "doğrudan analiz"e karşı koyar ve (van Helmont'un da takdir ettiği biçimde) bu karmaşıklık bilindik anlamında "kaos"a yakın bir anlamı temsil eder. Oysa milyarlarca atom birbiriyle etkileşirken kaos her nasılsa yok olmakta veya düzgünleşmekteydi. Sonuçta da bu basit yasaya ilişkin bir düzen ortaya çıkmaktaydı. (Ya da "yeniden" ortaya çıkmaktaydı). Bunun nasıl gerçekleşebildiği hakkında hiç kimse fikir yürütemiyordu. Newton'un yasalarına uyan birkaç parçacığın –denklemleri çözmenin yolu, usandırıcı kestirim tekniklerinden geçmesine rağmen– basit bir açıklaması vardı. Birlikte çalışan çok büyük sayılardaki parçacıkların da basit bir şekilde açıklanabileceği biliniyordu; ancak bir düzeyden diğerine nasıl geçildiğini

kimse bilmiyordu. Zaten uygulamalı bir bilim⁷ olarak termodinamik kendi çapında geliştirilebildiği sürece buharlı makine döneminde bunun hiçbir önemi yoktu.

Termodinamiğin gelişme süreciyse on dokuzuncu yüzyılın geri kalanının büyük bir kısmı boyunca, on yıllarca devam etti. Nihayetinde nesnelere sıcaklık, basınç, yoğunluk ve hatta kimyasal davranışları gibi makroskobik özellikleri bağlamında nasıl davrandığına ve bu özelliklerin sisteme dışarıdan etki eden değişikliklere (basınç artışı, sıcaklık düşüşü gibi) nasıl cevap verdiğiine dair açıklama sağlanmış oldu. Termodinamik bu gibi değişimleri başlı başına atom ve moleküller bağlamında tahmin etmeye çalışmasa da gerçekleşen olayların yorumlaması bu parçacıkların varlığını kabul ediyordu ve onların ortalama özelliklerinden istatistiksel yönde faydalanıyordu.

Fourier'in çalışmalarına önyak olan çalışmalar Kont Rumford tarafından 1790'lı yıllarda Bavyera'da yürütülmüştü. Zamanın İngiliz kolonisi olan Massachusetts'te dünyaya gelen Rumford (1753-1814) Bavyeralı 3. George ona Kont unvanını verene dek Benjamin Thompson adını taşıyordu. Rumford renkli çalışma hayatı boyunca askerlik, devlet adamlığı ve casusluk gibi çeşitli görevleri icra etmesinin yanı sıra tanınmış bir hayırseverdi ve bir dönem 3. George'un danışmanlığını da yürüttü. Bavyera'da ordu için yeni top üretimini denetlemeye koyulduğu günlerde Rumford ısının, bir "iş" biçimi olduğunu öne sürdü. Rumford'un topunun üretimi topun göbeğinin beygir gücüyle çalışan bir aletle delinmesi esasına dayanıyordu. Atlar çalıştıkça da delici alet ve onun deldiği boşluk gittikçe ısınıyordu. Bir buhar makinesi ısıyı nasıl işe çeviriyorsa, top delme işlemi de topun üretiminin yan ürünü olarak işi ısıya çevirmiş oluyordu.

Bütün bu fikirlerin meyve vermesi uzun zaman aldı. Kilit adımsa 1840'larda James Joule tarafından atıldı. Joule belirli miktarda suyun sıcaklığında belirli bir artış elde etmek için gerekli iş miktarını ölçmek adına yürüttüğü kusursuz deneylerle Rumford'un çalışmalarını bir adım öteye taşıdı. Deneylerinden biri kavramsal olarak gerçekten de olağanüstü basitti: Düşüş

⁷ *Practical science* –çn.

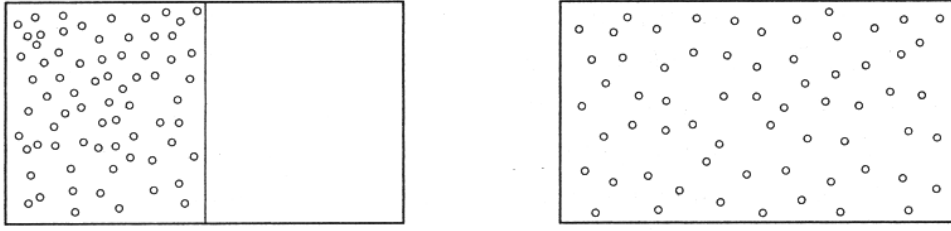
hareketi yapan, ağırlığa bağlı bir sicim tarafından hareket verilen bir tür çark sayesinde kap içindeki su karıştırılmak suretiyle ısıtılıyordu. Joule'un bu çalışmasının yanı sıra Almanya'daki Hermann Helmholtz gibi çağdaşlarının çalışmaları, enerjinin korunumu fikrini doğurdu. Bu fikre göre enerji ne yok edilebilir ne de yoktan var edilebilirdi; sadece bir biçimden diğerine dönüştürülebilirdi. Örnek vermek gerekirse atın yediği saman, oksijenle birleşerek kaslara güç veren bir kimyasal yakıt niteliğine bürünür ve dolayısıyla at, yapması gereken iş için ihtiyacı olan enerjiyi yediği samandan sağlamış olur. Samanın içinde kimyasal biçimde depolanan enerji de temelde güneş ışığından kaynaklanmıştır vs. Enerjinin korunumu prensibi, kapalı bir sistemdeki toplam enerjinin sabit kalacağını ifade eden termodinamiğin birinci yasası olarak da ele alındı. Bu kapalı sistemle kastedilen, tıpkı sürtünmesiz düzlem gibi fizikçilerin idealleştirmelerinden biri olan ve dış dünyayla hiçbir şekilde etkileşim içinde olmayan bir sistemdir. İşin aslı, top delme örneğinde görüldüğü gibi hiçbir iş-enerji dönüşümü kusursuz değildir ve ısı her zaman bir yan ürün olarak harcanır. Sonuç olarak da devirden bir miktar enerji eksilmiştir olur. Isının her zaman sıcaktan soğuğa doğru hareket etmesi sebebiyle (termodinamiğin ikinci yasası) eninde sonunda kapalı bir sistemde tüm enerji ısı haline gelecektir ve karşılaşıcağımız şey, sıcaklık farklarının yavaşça ortadan kaybolduğu, ilginç hiçbir şeyin meydana gelmediği, donuk ve özelliksiz bir sistem olacaktır.

Termodinamiğin ikinci yasasının tarifi çok farklı yollarla yapılabilirdi; ancak bu yasaya yönelik ilk ayrıntılı açıklamayı 1852'de İngiliz fizikçi (ileride Lord Kelvin unvanını alacak olan) William Thomson getirdi. Thomson'un dikkat çekmek istediği önemli nokta "ısı kaybı" fikriydi. Bu fikre göre dünyamızın çalışma şekli, ısıyı işe (veya aynı anlama gelen harekete) çeviren harika bir makinenin çalışma şekliyle ifade edilebilecek olsa da bu süreçte mutlaka bir miktar ısı kaybı (aslında kayıp değil, ama evrenin tümüne yayılan ısının, sıcaklığı ufak bir miktarda artırışı) olması gerekiyordu. Bu, enerjinin korunumu prensibi ya da yasasının (termodinamiğin birinci yasasının) ötesine geçen bir husustur; çünkü günümüzde, dünyadaki (Vic-

toria⁸ döneminde “dünya” ile anlatılmak istenen, şu anda bizim evren olarak adlandırdığımız şeydir) toplam enerji miktarı sabit olmasına rağmen kullanılabilir enerji miktarı sürekli azalmaktadır. Bu, fizikçilerin kapalı bir sistemdeki veya dünyadaki (veya tüm evrendeki) kullanılabilir enerji miktarını –hesaba katabilmek ve buna denklemlerinde yer verebilmek için– ölçmenin bir yolunu bulma ihtiyacında oldukları anlamına geliyordu. Bu ihtiyacın sonucu olarak da Rudolf Clausius entropi kavramını 1860’ların ortalarında Almanya’da bizlere sundu.

“Entropi” ile neyin ölçüldüğünü gözümüzün önüne getirebilmenin en basit yolu bir sistem içerisindeki düzenin miktarı bağlamında düşünmektir. Bu da en basitinden hareket ettirilebilen bir ara bölme tarafından ikiye bölünmüş bir kutu örneğini gözünüzün önüne getirmekle mümkün olabilir. Kutunun bir yarısı gazla doluyken diğer yarısı boştur; başka bir deyişle “boşluk”tur. Bu, belirli bir miktarda düzene veya yapıya sahip bir sistemdir; çünkü kabın iki yarısı arasında net bir ayırım vardır. Kabın içerisine rastlantısal biçimde mikroskobik bir robot sonda bırakırsak bu robot bize ara bölmenin hangi tarafında bulunduğunu, etrafının gaz mı yoksa boşlukla mı çevrili olduğunu test ederek söyleyebilir. Şimdi ara bölmenin kaldırdığını düşünün. Günlük tecrübelerimizden hepimiz ne olacağını iyi biliyoruz. Gaz, kutunun içini eş dağılımlı bir biçimde doldurmak üzere yayılır. Şimdi sistem daha az düzenlidir (ya da daha düzensizdir); çünkü gaz yığınının içindeyken kutunun hangi yarısında olduğunuzu söylemeniz mümkün değildir. Gaz boşluğa doğru yayıldıkça sıcaklık da düşmüş olacaktır. Şimdi kutunun bir kenarından bir pistonla gazın tamamını iterek gazın başlangıçtaki haline geri dönmesini sağlayabiliriz. Bu sayede gaz tekrar sıkışarak eski sıcaklığına da yükselmiş olacaktır. Diğer bir yandan bunu gerçekleştirmek için pistonun bir “iş” yapması gereklidir ve sürtünme gibi etkenlerden dolayı bu işlemde ısı kaybı kaçınılmaz olacaktır. Kutu, diğer bir deyişle kapalı bir sistem eski haline döndürülmüş olmasına rağmen bu işin sonucunda evrende ısı kaybı meydana gelmiş ve bununla birlikte dünya da değişmiş olacaktır.

⁸ Aleksandrina Victoria (1819-1901) 1837 yılından ölümüne dek Birleşik Krallık ve İrlanda’ya kraliçe olarak hükmetmiştir –çn.



Şekil 1.3 Bir kutudaki atomlar gibi çok sayıda parçacığa baktığımızda zamanın yönü belirginleşir. Ara bölme kaldırıldığında gaz tüm kutuyu doldurmak üzere yayılır ve biz hangi durumun "önce" hangisinin "sonra" olduğunu zaman oku belirtilmeden dahi kolaylıkla söyleyebiliriz.

Şimdi bu benzetmeyi biraz açalım. Siyah ve beyaz renklere boyanmış kareli bir satranç tahtası belirli bir miktarda düzen içerir. İki renk boya tam olarak aynı miktarda karıştırılıp tahta eş dağılımlı olarak griye boyanırsa daha düzensiz bir durum ortaya çıkar. Karıştırılan boya moleküllerini tekrar saf siyah ve saf beyaza ayrıştırabilecek hassaslıkta bir makineyi aklınıza getirebilirsiniz; ancak bu makine de yüzde yüz verimli olamayacağından işini yaparken evrenin tümüne ısı yayacaktır.

Entropi bir sistemdeki düzenin miktarını ölçmeye yarar. Düzensizlikteki artış entropinin artışına karşılık gelir. Dünyamızdan bildiğimiz üzere kapalı bir sistemin içindeki düzensizlik zaman geçtikçe artar. (Her şey gitgide tükenir.) Diğer bir deyişle entropideki kaçınılmaz artış zamanın yönünü, düzenli geçmişten düzensiz geleceğe doğrultulmuş bir oku ifade eder. Bu sürecin kaçınılmaz ve evrensel oluşu Victoria dönemi termodinamikçilerinin, evrenin sonu için yakıştırdıkları ve evrenin "ısı ölümü"ü diye adlandırdıkları bir kara senaryo tasavvur etmelerine yol açtı.⁹ Bu senaryoya göre tüm kullanılabilir enerji ısıya dönüşecek ve her şey maddelerin,

⁹ Evrenin genişlemekte olduğu gerçeğinin 1920'lerin sonunda keşfedilmesi bu ve benzeri tahminleri, kütleçekimin temelde negatif enerjisi olduğunun 1940'larda farkına varılmasıyla Victoria döneminde bahsi geçen ısı ölümü fikrini geçersiz kılmıştır. Paul Davies'in yazdığı *The Cosmic Blueprint* (Heinemann, 1987) ve benim yazmış olduğum *In the Beginning* (Penguin, 1994) adlı kitaplarda bu sarsıcı fikirler daha kapsamlı olarak tartışılmıştır.

eşit olarak dağılmış bir sıcaklıktaki yavan bir karışımından ibaret olacaktı.

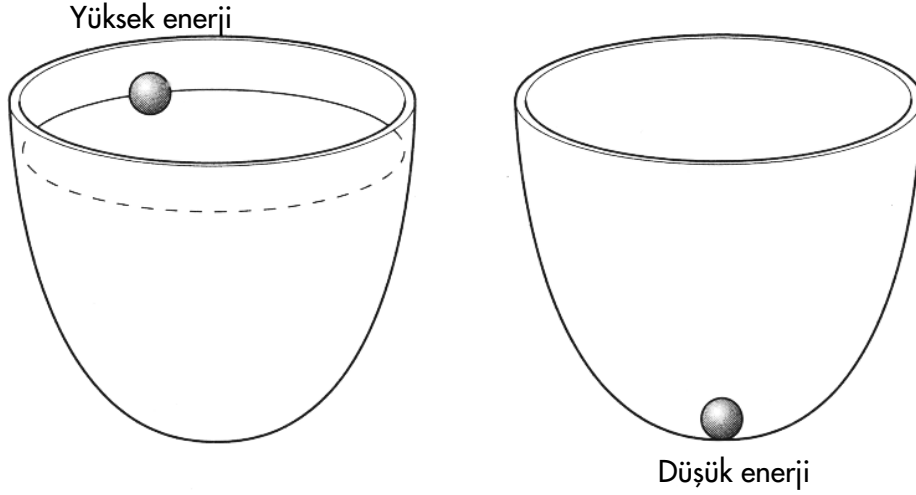
Yaşam tabii ki düzensiz (veya en azından daha az düzenli) maddelerden düzen ve yapı inşa ederek bu sürece karşı geliyormuş gibi gözükür. Bir bitki –kendi yapısını inşa etmenin yanı sıra– karbondioksit, su ve diğer birkaç kimyasaldan faydalanarak güzel çiçekler yaratabilir; ancak bunu sadece dışarıdan edindiği bir enerji kaynağıyla, güneş yardımıyla yapabilir. Dünya, bilhassa da dünyadaki yaşam kapalı bir sistem değildir. Thomson, Clausius ve onların çağdaşları tarafından geliştirilen denklemlerle de gösterilebilir ki evrenin herhangi bir yerinde bir düzen kümesi varsa bu sadece başka bir yerde ortaya çıkmış bulunan *daha fazla* düzensizlik sayesinde gerçekleşebilmiştir. Buzdolabının dondurucu kısmında buz elde edebilmek için, buzdolabının çevresinde dolaştırmak suretiyle sıvı pompalayarak donmakta olan suyun “kaybettiği” ısıdan daha fazlasını üreten bir makineye ihtiyaç vardır. Buzdolabının içindeki kılcal borularda gerçekleşen soğuma süreciyle, ara bölmeyi kaldırdığımızda hayali kutumuzdaki gazın genişmesi ve soğumasından oluşan süreç aslında birbirlerinin aynıdır. Buzdolabının arkasında bulunan borularda gerçekleşen ısınma süreciyle, sıkıştırılan gazın eski hacmine dönerek ısınması süreci için de aynı şeyi söyleyebiliriz. Sonrasındaysa sıvı buzdolabının içerisindeki borulara akmadan önce, kaybedilen ısı havaya karışır. Bir buzdolabı kusursuz yalıtım sağlayan duvarlarla mühürlenmiş bir odada çalışır halde bırakılırsa oda soğumak yerine ısınır; çünkü buzdolabının içindeki soğuma işlemini gerçekleştiren makine “iş” yaptığından ısı açığa çıkar.

Makroskobik ölçekte, kesinlikle onaylanmış, denenmiş ve test edilmiş bilimsel yöntemlerle yürütülen deney ve gözlemler yoluyla elde edilen yasalara göre evren tersine döndürülemez şekilde işler. Hiçbir şeyi eski haline geri döndüremeyiz. Oysaki termodinamik tersinmezlik, zaman okunun ve entropinin incelendiği gaz dolu ve bölmeli kutu örneğinde, makroskobik dünya ile mikroskobik dünya arasındaki karşıtlık oldukça berrak bir şekilde karşımıza çıkar. Newton’un yasalarına göre

gazı oluşturan atom ve moleküller düzeyinde (aslında mikroskobik-altı düzeyde ancak bu pek de önemsenmez) her çarpışma bilyardo masasındaki topların çarpışmasına benzer. Ara bölmeyi kaldırarak gazın kutunun tamamını doldurduğunu ve ardından sihirli bir değneği sallayarak her atom ve molekülün hareketini geri sardığımızı düşünün. Tersine çevrilmiş hareket şablonunda bu olay Newton'un yasalarıyla çelişmiyordu. Diğer bir deyişle körü körüne bu yasalara uyan atomlar ve moleküller yollarını gerisin geriye takip ederek yol boyunca ne kadar çarpışma gerçekleştirdiklerine bakmaksızın kutudaki eski yerlerini alacaklardı. Gerçek dünyada, bir odanın içindeki bütün gazın aniden odanın diğer ucuna hareketlenmesi gibi davranışları içeren sistemler gözle görülemediği için büyük ve küçük ölçekler üzerinde etkin olan yasaların karşılığı on dokuzuncu yüzyılın sonlarında fizik için dev bir yap-boz teşkil ediyordu.

Bu yap-bozu çözmeye çalışanlar fiziksel dünya hakkında (bu kitapta görmeye başlamış olduğumuz gibi) yeni bir dil ve düşünce yöntemi geliştirmek zorundaydı. Burada üzerinde durduğumuz konunun merkezindeki kilit kavramlardan birisi çekici¹⁰ fikridir. Bir kutunun içerisine önceden bahsettiğimiz gibi bir bölmenin kaydırılmasıyla veya kutunun bir duvarındaki delik vasıtasıyla gaz aktarıldığında karşımıza çıkacak son durum kutuya eşit olarak yayılan gazın bir denge haline gelmesi olacaktır. Bu hal sistemin sahip olabileceği maksimum entropiye karşılık gelir. Gaz kutunun içine hangi yöntemle aktarılmış olursa olsun bu son sonuç değişmez. Bir diğer deyişle gazın aktarıldığı deliğin hangi duvarda bulunduğu veya o duvarın neresinde yer aldığı hiçbir önemi yoktur. Son denge hali (ki bu aynı zamanda minimum enerji miktarı haline denk gelir) noktasal çekici olarak adlandırılır; çünkü sistem sanki o hale çekiliyormuşçasına davranır ve eriştiğinde de sistemin o hale nasıl geldiğini kestirmenin bir yolu yoktur. (Son denge halinde geçmiş kayıtlı değildir.)

¹⁰ *Attractor* –çn.

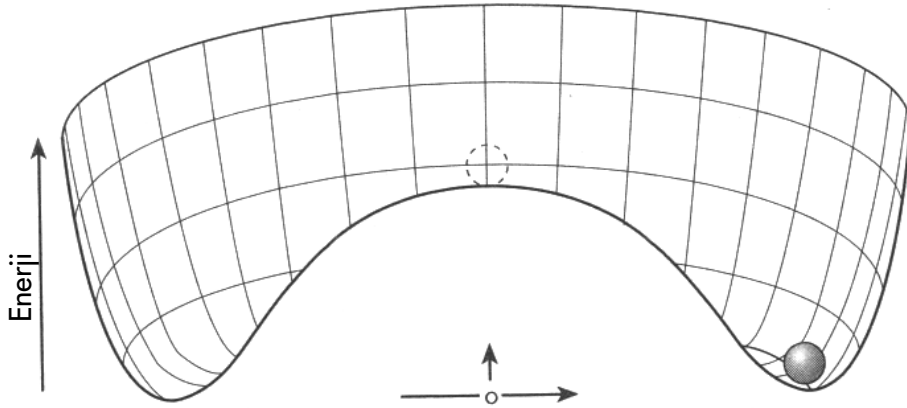


Şekil 1.4 Kendi hallerine bırakıldıklarında ve dışarıdan enerji eklenmediğinde sistemler (kâse içindeki basit bir bilye kadar basit bir sistem bile) maksimum entropi ve minimum enerji haline inme eğilimindedir.

Aşına olduğumuz başka sistemler de bu yöntemle açıklanabilir. Bir bilyeyi bir kâsenin içerisine yuvarladığımızda birkaç tur atan ve salınım yapan bilye son olarak kâsenin dibinde hareketsiz bir halde kalacaktır. Oysa bu kadar basit bir sistemde bile çekici o kadar da basit olmak durumunda değildir. Bu kez bilyeyi bir Meksika şapkasının kıvrık kenarından içeri yuvarlarsak bilye bu kenarın şapka çevresince oluşturduğu oluğun herhangi bir yerinde duracaktır. Oysa bu oluk boyunca bir çember oluşturacak biçimde konuşlanmış bütün noktalar –kimi zaman “Meksika şapkası çekicisi” olarak adlandırılan– çekicinin birer parçasıdır; çünkü hepsi aynı minimum enerji haline karşılık gelir. Kusursuz ve sürtünmesiz hayali bir sarkaç (diğer adıyla diğer ideal sarkaç) için ileri geri salınım hareketi bir çekicidir. Gerçek bir sarkaç söz konusu olduğundaysa sürtünme enerji kaybına yol açacağından salınım yavaşlayarak sona erecek ve sarkaç dikey pozisyonda asılı kalacaktır. Bu da bir çekici hali olarak addedilebilir. Sarkacın salınımını nasıl ayarlamış olursak olalım (soldan sağa, ileri geri veya çemberler çizecek şekilde) yeteri kadar beklediğimizde sarkaç oraya nasıl ulaştığına dair hiçbir ipucu vermeden yine aynı son haline kavuşacaktır. Termodinamik diliyle, bir sistem dengeye

ulaştığı anda başlangıç şartlarını unutmuş olacaktır. Önemli olan tek şey onun o anda nerede olduğudur.

Peki bir sistem ne zaman dengeye ulaşır? Gerçek dünyada kusursuz yalıtıcı diye bir şey yoktur; dolayısıyla gazla dolu kutumuz kaçınılmaz olarak dış dünyayla ısı alışverişi halinde olacaktır. Salınım yapan ve yavaşlayarak duran sarkaç, dengeye ulaşmakta olan bir sistem için daha iyi bir örnek gibi gözüktense de bu durum sarkacın kendisiyle çarpışan hava molekülleriyle itişip kakışması anlamına gelir. Sarkacı vakumlu bir odaya koysak dahi sarkacın bir yere bağlı olması gereken ipiyle dış dünya arasındaki etkileşimin önüne geçilemez. İşin aslı şu ki yalıtılmış sistem diye bir şey yoktur (evrenin tümü hariç) ve hiçbir sistem kusursuz bir dengede değildir. Dengeye çok yaklaşılabılır –istediğimiz kadar bekleyerek daha da yaklaşılabılır– ama gerçek anlamıyla kusursuz denge sağlanamaz.



Şekil 1.5 Sistemlerin dengeye geldiği duruma "çekici" adı verilir. Önceki örnekteki çekici, kâsenin dibindeki tek bir noktadır; ancak yukarıdaki gösterimde olduğu gibi yayılı bir bölge de olabilir. Tepedeki bilye vadiye düşmek zorundadır; ama vadinin dibindeki her yer eşit oranda çekicidir.

Bunu ileri sürerek dayanaksız bir bilgiçlik yapmadığımızı Ilya Prigogine ve Isabelle Stengers'ten bir örnek vererek gösterebiliriz.¹¹ Aralarındaki bağlantının nispeten dar bir boru tarafın-

¹¹ *Entre le temps et l'éternité*, Fayard, Paris, 1988. Kitabın yayıma hazırlanması 2003 yılında Prigogine hayatını kaybetti.

dan sağlandığı iki kap, hidrojen sülfid ve hidrojen gazları karışımıyla doldurulup her şeyin eşit bir sıcaklıkta olacağı denge haline gelmesi beklendiğinde iki kaptaki da her iki gazın eş olarak dağıldığı bir karışım elde edilecektir. Oysa kaplardan birinin sıcaklığı diğerinden çok az da olsa daha sıcak tutulursa gaz karışımını ayırışmaya başlar ve sıcak kaptaki hafif olan hidrojen moleküllerinin sayısı, soğuk kaptaysa ağır hidrojen sülfid moleküllerinin sayısı artar. (Bu sadece hidrojen sülfid ve hidrojen molekülleri için değil, farklı molekül ağırlıklarına sahip herhangi iki gaz için de geçerli olacaktır). Böylelikle dengede meydana gelen çok ufak bir sapma kaostan düzen oluşmasına yol açmış olur. Bir enerji akışı, denge halinden uzaktayken doğru şartlar sağlanırsa kendiliğinden düzen yaratabilir. Bu bizim varlığımız açısından can alıcı bir kavrayıştır; çünkü düzenli yaratıklar olduğumuz tartışılmaz bir gerçektir ve evrenin başlangıçtaki halinin, şimdikinden çok daha az düzene sahip olduğuna dair elimizde kesin kanıtlar bulunmaktadır. Bilim insanları dengeye yakın bir sistemin genel olarak *entropi üretim oranınının minimum düzeyde olduğu* bir hale çekileceğini eninde sonunda kavradılarsa da bu ancak yirminci yüzyılın ortalarına doğru mümkün oldu. Newton'un selefleri ilk olarak, onun hareket yasaları ve denklemleri vasıtasıyla rahatlıkla çözülebilecek basitlikte problemlere ağırlık vermişti. (Çünkü bunlar çözülmesi en kolay problemlerdi). Termodinamikçiler de aynı sebepten, ilk olarak dengedeki sistemler ile onları açıklamaya yarayacak denklem ve yasalara (termodinamiğin ikinci yasası gibi) yöneldiler. Söz konusu yaklaşım, olasılık bağlamında bir termodinamik anlayışının gelişmesine ve istatistiksel mekanik adı altında daha geniş bir faaliyet alanının ortaya çıkmasına yol açtı. Bu yeni çalışma alanı temel olarak gazların davranışını matematiksel yönden açıklama girişimlerinden kaynaklandı; çünkü gazlar az çok Newton'un yasalarına uygun olan molekül çarpışmaları içeren görece basit sistemlerdi. Dolayısıyla bu konuya ilişkin denklemleri çözebilmek adına bir umut vardı. Gazların kinetik teorisi (gaz bileşiminde yer alan moleküller bağlamında "kinetik" hareketi ifade eder), on dokuzuncu yüzyılın ikinci yarısında, fikirleri birbir-

lerini destekleyen ve tamamlayan kişilerce geliştirildi. 1858'de "ortalama serbest yol" fikrini ortaya atan Clausius da bu süreçte rol oynayanlardandı. "Ortalama serbest yol" belirli bir sıcaklık ve basınçta, bir gaz molekülünün iki çarpışma arasında kat ettiği ortalama mesafe anlamına geliyordu. Clausius'un bir diğer fikrine göreyse moleküller "etkin yarıçap"a sahiplerdi ve bu sebeple küçük sert taşlar gibi davranıyorlardı. Maxwell, Clausius'un bu fikirlerini gözden geçirdi ve çarpışmada yer alan moleküllerin hızları arasındaki farklılıkları hesaba katarak bu fikirleri bir adım öteye taşıdı. Moleküllerin tüm bu özellikleri uygun biçimde kullanıldığında gazların gözlemlenen davranışlarının çoğunun görece basit denklemler vasıtasıyla nasıl açıklanabileceğini ortaya koyan da Maxwell oldu. Maxwell'in bu çalışması, her şeyi bir araya getiren ve istatistiksel mekaniğin ilk biçimini oluşturan Ludwig Boltzmann'a Almanya'da kaydettiği ilerlemelerde ilham kaynağı oldu. Josiah Willard Gibbs de Atlantik'in diğer yakasındaki ABD'de bilimin bu yeni dalının gelişimi adına büyük katkı sağladı.

Burada istatistiksel mekaniğin detaylarına inmemize gerek olmasa da size kilit bir kavram olan olasılık kavramına yönelik bir kavrayış sağlayabiliriz. Bu kavramı Boltzmann, daha önce de bahsi geçen kutudaki gaz modeliyle ilişkili çok basit bir örnek (zihinsel bir "model") kullanarak hayata geçirdi. Hatırlanacak olursa yap-boz, ortada Newton'un mekanik yasalarına aykırı bir durum bulunmamasına rağmen bütün gazın kutunun bir yarısına hareket etmeyişiinden kaynaklanıyordu. Gazın bütün kutuya aşağı yukarı eşit olarak dağılmış olduğu hali özel kılan şey neydi? Ne olup bittiğine dair bir ipucu edinebilmek için ilk olarak kutunun içine yalnızca iki tane parçacık yerleştirdiğimizi düşünün. Parçacıklar birbirleriyle çarpışıp kutunun duvarlarından sekerek Newton'un yasalarıyla uyumlu bir biçimde dolanıp dururlar. Herhangi bir anda kutunun içerisinin bir görüntüsü alındığında parçacıklar nasıl konumlanmış olabilir? Kutunun her bir yarısında birer parçacığın bulunması iki şekilde mümkündür: A parçacığı soldayken B parçacığı sağdadır veya A parçacığı sağdayken B parçacığı soldadır. Her iki parçacığın da kutunun bir yarısında bulunma ihtimali de

kendi içinde ikiye ayrılır: Her iki parçacık da aynı anda kutunun ya sol ya da sağ yarısındadır.

Başka şekilde söyleyecek olursak, bu kıstasa göre kutunun içinde bulunabileceği sadece dört muhtemel durum vardır. Her durum eşit ölçüde muhtemelse (bunun aksini düşünmek için de hiçbir sebep yoktur), o halde parçacıkların solda bulunma ihtimali yüzde 25, sağda bulunma ihtimali yüzde 25 ve her iki yarıda da bulunma ihtimali yüzde 50'dir (2×25). Bu oranlar göz önüne alındığında kutuya bir anlık baktığınızda dört olasılıktan herhangi birisiyle karşılaşmak sizi şaşırtmayacaktır.

Şimdi aynı işlemi dört parçacıkla gerçekleştirin. Kolay yoldan gitmek adına bu sefer yalnızca kutunun tek bir yarısını ele alın. Bir parçacığın bir yarıda, kalanların diğer yarıda bulunması için dört ihtimal vardır. (A, B, C ve D parçacıklarını sırayla tek başına bulunan parçacıklar olarak düşünersek). Diğer yarıdan sol yarıda iki tane parçacığın bulunması altı ihtimalden oluşur (AB, AC, AD, BC, BD, CD). Şimdiden elimizdeki 4'e 6 oranıyla, her bir yarıda eşit sayıda parçacık görme ihtimalinizin, bir yarıda tek parçacık görme ihtimalinizden yüksek olduğu söylenebilir. (Sol yarıda hiçbir parçacık bulunmaması için de yalnızca tek bir ihtimal vardır.) Parçacık sayısı arttıkça oran da eşit dağılım ihtimalinin lehine önemli ölçüde yükseliş gösterir. Dilerseniz sayılarla haşır neşir olmaya devam edebilirsiniz; ama yalnızca sekiz parçacığın bulunduğu durumda tüm parçacıkların kutunun bir yarısında bulunması yalnızca bir ihtimalden ibaretken, parçacıkların iki yarıda eşit olarak dağılmış olması için yetmiş farklı ihtimalden vardır. Boltzmann'ın ileri sürdüğü şeydu: Gazların bir köşede toplaşmak yerine kutunun tamamını doldurmak için yayıldığını görürüz; çünkü bu, öbüründen ezici bir üstünlükle çok daha muhtemeldir. Yine de "öbürü" imkânsız değildir; sadece çok az olasıdır.

Burada çizmiş olduğumuz bu basit taslak, olasılık ile entropiyi ilişkilendiren bir matematiksel denklemin türevinin alınmasını içeren¹² Boltzmann'ın çalışmasının güç bela da olsa hakkını verir ve istatistiksel mekaniği yerinde bir sayı-

¹² Boltzmann bu denklemlerle ($S=k \cdot \log P$) öyle gurur duyuyordu ki denklemleri mezar taşına yazdırdı.

sal temele dayandırır. Yine de umarım ne olup bittiği hakkında sizlere bir ipucu verebilmişizdir. Kilit nokta tabii ki gaz dolu küçük bir kutuda dahi gerçekleşen çarpışmalara kaç tane parçacığın müdahil olduğu ve sonuç olarak parçacıkların kutunun bir kenarında konumlanma ihtimallerinin bu derece az olduğudur. Tüm bu fikirler birbirini beslediğinden, ortaya çıkan söz konusu sayıların anlaşılmasının ilk olarak 1860'lara denk gelmesi de tesadüf değildir. Bu süreç bizi gerisin geriye İtalyan Amadeo Avogadro'nun çalışmasına götürür. Avogadro 1811'de, eşit hacimdeki gazların aynı sıcaklık ve basınçta eşit sayıda parçacık içerdiklerini öne sürdü. Belirli bir sıcaklık ve basınç altındaki herhangi bir gazın içereceği, birbirleriyle ve duvarla çarpışarak etrafta seken –şimdi molekül olarak adlandırdığımız– küçük ve sert topların her zaman aynı sayıda olması gerektiği fikrinin mucidi de oydu. Avogadro'ya göre bu gazın oksijen, karbondioksit ya da birkaç gazın karışımı olan soluduğumuz hava olmasının hiçbir önemi yoktu ve bu bağlamda önemli olan tek şey molekül sayısıydı.

Hiç şaşırtıcı olmayan biçimde, bu modelde ihtiyaç duyulan molekül sayısının neye göre değiştiğiyle ilgili kesin bir sonuca ulaşılması çok uzun zaman aldı. Aksine şaşırtıcı olan bunun başarılmasının daha da uzun zaman almamasıydı. Bu problemle başa çıkmanın aslında birçok yolu bulunsa da biz sadece bir tanesini açıklamakla yetineceğiz. Anlatacağımız model Avusturyalı Joseph Loschmidt tarafından 1860'ların ortasında geliştirilmiştir. Model sayesinde hesaplanabilen şey 0 °C'de ve standart atmosfer basıncındaki bir santimetreküp gazın barındırdığı –Loschmidt Sayısı olarak da bilinen– molekül sayısıdır. Loschmidt bir gazın içinde çok fazla miktarda boşluk olduğu ve her molekülün, etkin yarıçapı bağlamında belirlenen bir hacmi kapsadığı varsayımıyla işe koyuldu. Ortalama serbest yol, moleküllerin ortalama hızı vs bağlamında kinetik teoriden faydalanarak basınç hesaplanabilirdi. Gaz içinde birkaç sayıda büyük molekül bulunuyorsa uzun bir ortalama serbest yoldan, çok sayıda küçük molekül bulunuyorsa da daha kısa bir ortalama serbest yoldan bahsedilebilirdi. Modelin gerçek gaz içindeki basınç değişimiyle uyumlu olması için sadece bir

ortalama serbest yol değeri olması ve dolayısıyla tüm parçacıklar için tek bir değer bulunması gerekirdi. Loschmidt Sayısı için şimdilerde kullanılan değer $2,687 \times 10^{19}$ 'dur (10^{19} 1'in yanına 19 adet sıfır yerleştirilmesiyle elde edilen sayıdır) ve hatırlayacak olursak bu sayı, buz gibi soğuk bir günde deniz seviyesindeki havanın her santimetreküpünde bulunan molekül sayısına eşittir. Bu sayı aynı zamanda atomların ve moleküllerin ne kadar küçük oldukları hakkında da bir fikir verebilir. Şimdi gelin bunu bir perspektife yerleştirelim. Teleskopla gökyüzüne baktığımızda yaklaşık 300 milyar (300×10^9) adet parlak galaksinin yanı sıra galaksimiz Samanyolu'nun barındırdığı yaklaşık aynı sayıdaki parlak yıldızı görebiliriz. Bu iki sayıyı (yıldız ve galaksi sayılarını) birbirleriyle çarpınca elde edeceğimiz 90.000×10^{18} veya 9000×10^{19} sayısı da bize görünen evrenin tamamındaki parlak yıldız sayısını verecektir. Bunu da Loschmidt Sayısı'na bölersek yaklaşık 450 santimetreküp (yarım litreden daha az¹³) soğuk gazın neredeyse evrendeki yıldız sayısı kadar molekül taşıdığını hesaplamış oluruz. Bahsettiğimiz moleküller birbirlerine o kadar yakındır ki 460 m/s ortalama hızla meydana gelen bu çarpışmalar arasındaki ortalama serbest yol, bir metrenin 13 milyonda biri büyüklüğündedir. Böyle yüksek bir molekül sayısı konu olduğunda istatistik bize, kibrit kutusu büyüklüğünde bir kutu içindeki gazı, kutunun bir köşesinde toplu halde görmek için evrenin ömründen bile daha uzun bir süre beklememiz gerektiğini söyler.

Yine de bütün bunlar bize bu tecrübeyi yaşamamızın imkânsız olduğunu ima etmez. Boltzmann ise bunun imkânsız olduğunu kanıtlayan bir yol bulduğunu ve zaman okunu termodinamiğe bu şekilde yerleştireceğini düşünmüştü. Gel gör ki zaman Boltzmann'ı haksız çıkardı. Boltzmann, kutudaki bütün moleküllerin etkileşimlerini takip etmeyi denemedi. Onun yerine, tekil moleküllerin özelliklerinin düzgün istatistiksel ortalamasından yola çıkarak bir kutu gazın genel davranışını tanımlayan denklemler kurdu. Günlük dilde anlatacak olursak bu denklemler, gaz moleküllerinin özelliklerinin zaman içinde nasıl benzeşeceğini gözler önüne serdi. Örneğin gaz ilk olarak

¹³ Bir litre 1000 santimetreküptür; 100 değil.

kutunun içine verildiğinde daha yüksek sıcaklıkta olan bazı moleküller diğerlerinden daha hızlı hareket edeceği için kutunun köşesindeki gaz, gazın geri kalanından daha yüksek bir sıcaklıkta olabilir. Hızlı hareket eden molekül yavaş hareket edenle çarpıştıyındaysa iki molekülün hareket enerjisi (diğer bir deyişle kinetik enerjileri) birbirleri arasında paylaşılır ve iki molekül ortalanmış bir hızda hareket etmeye başlar. (Hızlı hareket eden bilardo topunun, kendi etrafında dönmezken sabit olanla çarpıştığını varsayınız.) Bu durumda daha sıcak moleküller soğuyacak ve soğuk olanlar ısınacaktır; ta ki kutudaki gazın tümü termodinamik dengede ve ortak bir sıcaklıkta buluşana kadar. 0 °C havadaki her molekül her bir saniyede dört milyonun biraz altında bir sayıda çarpışmaya maruz kaldığından söz konusu süreç de olabildiğince süratli ve etkin olacaktır. Boltzmann tarafından oluşturulan bu denklemler tek yönlü bir termodinamik dengeye yol açan rastlantısal ve doğal süreçleri işte tüm bu açıklığıyla ortaya koydu.

Peki neden düzenli bir dünyada yaşıyoruz? Boltzmann en sonunda herkesten daha ileri giderek bütün evrenin ısıl ölümünün zaten gerçekleşmiş olduğunu ve tümünün de bu şekilde bir dengede olması gerektiğini öne sürdü. O halde dünya gibi dengeden çok uzakta olan ve yaşamın üretilebildiği bir yer nasıl var olabiliyordu? Bu soruya cevabıysa şuydu: Teleskoplarımızla görüp araştırabildiğimiz tüm bu uzay alanı (ki 19. yüzyılın sonunda bu bölge Samanyolu Galaksisi dediğimiz yıldız adası kadardı) dengeden uzaktaki –evren ölçeğine göre– ufak, bölgesel bir dalgalanmayı temsil ediyor olmalıydı. Eninde sonunda varsayımsal gaz kutumuzda termodinamik süreçlerle denge sağlanacaktı; ancak soldan sağa giden moleküllerin sağdan sola gidenlerden sayıca fazla olduğu, diğer bir deyişle kutunun sağ yarısındaki yoğunluğun yükseldiği durumlar tesadüfi olarak ortaya çıkabilirdi. Boltzmann'a göre evrenin görünen kısmı da kendisinden çok daha büyük bir kozmos içinde bölgesel bir dalgalanmaya tâbiydi. Boltzmann bu konuya ilişkin olarak, *Lectures on Gas Theory* adlı eserinde şunları söyledi:¹⁴

¹⁴ Kitabın orijinali 1896-1898'de iki cilt halinde ve Almancada yayım-

Önümüzde iki farklı resim mevcut: Ya tüm evrenin şu an çok az olası bir durumda bulunduğunu ya da bu az olası durumların süregeldiği "eon"ların¹⁵ tüm evrenin ömrüne kıyasla çok ufak bir zaman dilimini teşkil ettiğini ve Sirius (en yakın yıldızlardan biri) ile aramızdaki mesafenin evrenin büyüklüğüne kıyasla çok kısa bir mesafe olduğunu varsayacağız. Tamamen termal bir dengede olan ve dolayısıyla ölü olan böyle bir evrende; galaksimiz gibi görece daha ufak olan bölgelere tek tek rastlamak mümkündür. Bu bölgeler ("dünya"lar da diyebiliriz) nispeten daha ufak bu zaman eonu esnemeleri içinde termal dengeden büyük bir sapma gösterir. Bu dünyalar içinde; onların, içinde buldukları bu duruma (diğer deyişle entropiye) erişme olasılığı azaldığı sıklıkta artacaktır da. Uzayın içinde aşağı ve yukarı kavramları mevcut olmadığı gibi, evrenin tamamını göz önüne aldığımızda, zamanın iki yönü arasındaki ayrım ayırt edilemez. Ancak, nasıl biz dünya yüzeyinde belirli bir yerde "aşağı" kavramını, "dünyanın merkezine doğru" şeklinde tarif ediyorsak, kendini herhangi bir anda belirli bir zaman dilimi içinde bulan canlı bir organizma da zamanın "yön"ünü, "daha az olası bir durumdan daha olası bir duruma doğru" şeklinde tarif edebilir. Az olası durum "geçmiş", daha olası durum ise "gelecek"tir. Bu organizma aynı tanımdan yola çıkarak, evrenin geri kalanından yalıtılmış kendi küçük bölgesinin "başlangıçta" her zaman daha az olası bir durumda bulunduğunun farkına varacaktır. Bana öyle geliyor ki bu şekilde bir bakış; tüm evrenin belirli bir ilk durumdan son duruma doğru tek yönlü değişimine değinmeye ge-

landı. Tekrar basımı ise University of California Press, Berkeley tarafından 1964'te yapıldı.

¹⁵ Eon sözcüğü; jeoloji, kozmoloji ve astronomide 1 milyar yıllık zaman dilimini tanımlamak için kullanıldığı gibi, çok uzun –hatta sonsuz– bir zaman dilimini tanımlamak için de kullanılır –çn.

rek kalmaksızın, ikinci yasanın geçerliliğini ve her bir dünyanın ısı ölümünü anlamamızı sağlayan tek yoldur.

Boltzmann'ın, uzayda tercihi bir yön elde etmek amacıyla kütleçekim örneğini kullanması talihsizlik olarak değerlendirilebilir. Zira bahsetmiş olduğumuz gibi; bu denli büyük ölçeklerde, entropiyle ilgili bazı geleneksel fikirlerin alaşağı edilmesine neden olan şey evrenin tümünde hâkim olan kütleçekim etkisinin ta kendisidir. Ayrıca Boltzmann'ın "tüm evrenin belirli bir ilk durumdan son duruma doğru tek yönlü değişimi" fikrini bir kenara itiş, bu fikrin günümüzde yaygınca evrenin Büyük Patlama modelinin yalın bir özeti olması bakımından ironiktir. Bilhassa Boltzmann'ın fikirleri miadını doldurmuş gibidir; çünkü artık –sadece 8,6 ışık yılı uzaklıktaki– Sirius'tan da ötesindeki evrenin özelliklerini inceleme kabiliyetine sahibiz ve bize görünür olan bu *milyar* ışık yıllık ölçekte, Boltzmann'ın değindiği eş dağılımlı ve ölü bir kozmosa rastlamamaktayız. Yine de Boltzmann'ın bu antika fikirlerine gülüp geçmek yanlış olur. Günümüzde, görünür tüm evrenin muazzam büyüklükte, hatta belki de sonsuz ve az çok eş dağılımlı bir kozmosta bulunan çok sayıda genişleyen baloncuktan yalnızca biri olduğunu ileri süren saygın kozmologlar bulunmaktadır. Boltzmann termodinamik ilkeleri temel almamış olsa bile bu fikirler bize, 8,6 ışık yılını çok büyük bir uzaklıkmiş gibi değerlendirecek kadar dar görüşlü olmasını çok da alaya almamamız gerektiğini salık verir.

Ne var ki aslında tüm bunların konumuzla bir ilgisi yoktur; çünkü belirttiğimiz gibi, Boltzmann'ın savında –felsefî düşünüşünde olmasa da gazların davranışını açıklamak için kullandığı matematikte– bir hata vardır. Boltzmann birbirleriyle çarpışmak üzere olan moleküllerin birbirleri hakkında hiçbir şey bilmediğini varsayarak işe koyulmuştu. Birbirleri hakkında hiçbir şey bilmemekle kastettiği, bu moleküllerin hareketlerinin bağıntısız olmalarına ilaveten "moleküler kaos"a (burada kaos, bu kitapta daha sonra kullanılacak olan anlamda değil, günlük dildeki anlamında kullanılmıştır) tâbi olmalarıdır. Oy-

saki bu moleküller çarpışma esnasında enerji ve momentum alışverişi gerçekleştirdiklerinden, tabii ki moleküllerin izlediği yol birbirleriyle bağıntılıdır. Dolayısıyla Boltzmann en başından itibaren hesaplamalarının içine mikroskobik bir zaman okunu bilinçsizce de olsa yerleştirmişti ve şaşırtıcı olmayan biçimde hesaplamaların sonunda makroskobik bir zaman oku ortaya çıkmıştı. Oysa çarpışmaları açıklamak için kullanılan Newton'un yasalarında zaman okuna dair hiçbir emare yoktur ve bu yasalar bütün sistem tersine doğru işlese de aynı şekliyle geçerlidir. Tek bir yönde işleyip diğer bir yönde işlemeyen bir bağıntı olamaz. Başka bir deyişle Laplace'ın da katılacağı biçimde, gazın içindeki tüm moleküllerin herhangi bir andaki hızları ve pozisyonları gazın bütün geçmişini hafızalarında barındırır ve bu sayede anlarız ki her molekülün davranışı diğer bütün moleküllerin davranışlarıyla bağıntılıdır.

Boltzmann'ın savındaki hataya 1870'lerin ortasında (Boltzmann bu fikrini özgün biçimde formüle ettikten hemen sonra) Loschmidt tarafından parmak basılmıştı.¹⁶ Bu husus Fransız bir matematikçi ve fizikçi olan Henri Poincaré (1854-1912) tarafından da ele alınarak bir üst düzeye çıkarıldı. Laplace'ın savından yola çıkarak mantıklı bir sonuca ulaşan Poincaré, sınırlı sayıda (yeter ki sonsuz sayıda olmasın) parçacık içeren bir gazınız varsa ve bu parçacıklar Newton'un hareket yasalarına harfiyen uyuyorsa o zaman yeteri kadar beklendiğinde gazı oluşturan parçacıkların kutu içindeki dağılımının –her parçacığın başlangıçtaki yön ve hızında hareket ettiği– orijinal durumuna döneceğini matematiğin tüm katılığını kullanarak kanıtladı. Burada benzetme olarak bir iskambil destesinin karıştırılmasını sunabiliriz. Başlangıç durumunuz ne olursa olsun (kartlar nasıl bir düzende olursa olsun), karıştırma işlemi ilkin başlangıç örüntüsünü bozacaktır; ancak kartları yeteri kadar uzun bir süre boyunca rastgele karıştırdığınızda eninde sonunda destenin başlangıç düzenini elde edersiniz. Başlangıç zamanımız da keyfi olduğundan iskambil destesi veya

¹⁶ Boltzmann'ın, sonraları alelacele, dünyamızın ölü bir evrendeki bölgesel bir dalgalanma olduğu fikrini öne sürüşü bu tip eleştirilere maruz kalmış olmasından kaynaklanıyordu.

gaz dolu kutu her olası duruma tekrar tekrar gelecektir. Bu olasılıklar gazın hem kutunun bir kenarında toplandığı nadir durumları hem de kutunun içine eşit olarak yayıldığı, ancak parçacıkların ufak da olsa farklı dizilişte bulunduğu çok daha olası durumları içerir. Gazın kutu içinde bulunabileceği tüm bu durumlar Poincaré tekrarlama süresi veya Poincaré çevrim süresi adı verilen bir frekans içinde tekrar tekrar gerçekleşir. Entropi bir süre için yükselirse (Boltzmann'ın evreninin temelinde görüldüğü gibi) sonrasında gazı orijinal haline döndürmek üzere kaçınılmaz olarak tekrar düşmek zorundadır. Bu tekrarlı, çevrimsel davranış da geçmiş ve geleceğin eş bir durumu ifade ettiği Newton'un yasalarının katı uygulandığının doğrudan bir sonucudur.

Ne var ki ilgili zaman ölçekleri algımızın ötesindedir. N sayıda molekül içeren gaz dolu yalıtılmış bir kutu için Poincaré tekrarlar arasındaki zamanın 10^N saniye olduğunu ispatladı. Deniz seviyesi ve 0°C 'deki tek bir santimetreküplük havanın 10^{19} molekülden de fazlasını içerdiğini hatırlayınız. Bu büyüklükteki bir kap içerisindeki gazın çevrimini tamamlamasına şahit olmak için 10 üzeri 10^{19} saniye beklememiz gerekir. Büyük Patlama sonrasındaki evrenin ömrüyse sadece 10^{17} saniyedir. 17 'yi 10^{19} 'a bölerseniz kutudaki gazın –dış dünyadan yalıtıldığı sürece– termodinamik dengeden sapışına, evrenin bugüne kadarki ömrü süresince şahit olmamızın ne kadar ufak bir ihtimal olduğuyla ilgili fikir sahibi olabilirsiniz. Kutu sadece 52 (iskambil destesindeki kart sayısı kadar) parçacık içerseydi bile çevrim süresi 10^{52} saniye, başka bir deyişle evrenin ömrünün 10^{35} katı olacaktı.¹⁷

Tüm bunların ışığında termodinamik ve bilhassa da entropi artışı fikirleri istatistiksel fikirler haline geldi. İlgili parçacık sayısını veri kabul edersek gerçek dünyada entropinin artması kuvvetle muhtemeldir; ancak entropinin düşmesi de fizik yasalarına aykırı bir durum teşkil etmediğinden ihtimal dışı değildir. Bu, ilk kertede tüm fizikçilerin duymaya tahammül edebileceği bir durum değildi. Laplace'tan 75 yıl, Newton'un

¹⁷ Çevrim süresinin evrenin süresine eşit olabilmesi için kutunun elbette ki sadece 17 parçacık içermesi gerekirdi.

Principia'yı yayımlamasındansa iki yüz yıl sonra fizikçiler şu gerçeğe yüzleşmek zorundaydı: Dünya en basit anlamda belirlenimci değildi ve makroskobik sistemlerin davranışını hesaplamaya ve tanımlamaya çalışırken şans ve olasılığın göz önünde bulundurulması gerekiyordu. Yine de giderek bu fikre alışıldı ve sonrasında da bunun doğal ve hatta apaçık ortada olduğunu kabul eden nesiller yetiştirildi. Öte yandan bu fikirler ana akım bilimde kendine yer ettiği sırada Poincaré başka sorunlara eğilmekle meşguldü. Poincaré 1880'lerin sonunda Newton'un yasalarının işleyişiyle ilgili öyle şok edici bir hususu keşfetti ki bu bir insanın (İncil'e göre) yetmiş yıllık ömrünün büyük bir bölümü boyunca yasaların çıkarımlarıyla ilgili göz ardı edilmiş bir şeyler olduğu anlamını taşıyordu. Poincaré temelde Newton'un, gezegenlerin yörüngelerinin kararlılığıyla ilgili endişelenmekte haklı olduğunu ve Laplace'ın da yap-bozu çözdüğünü düşünmekte hata ettiğini keşfetti. Ayrıca N cisim problemleri bir yana, üç cisim probleminin alışlageldik kestirim teknikleriyle çoğu zaman çözülemediğini ve –görünen o ki– Newton'un ilgili yasalarına ve mekaniğine tâbi olan basit yörüngelerin ve kütleçekimin, kaotik ve –tam anlamıyla– tahmin edilemez şekilde davranabileceğini ortaya koydu.