

# STEPHEN HAWKING

LEONARD MLODINOW

## MARELE PLAN



HUMANITAS

Stephen Hawking este una dintre cele mai mari personalități științifice ale epocii noastre. Timp de treizeci de ani a fost profesor la Universitatea Cambridge și a primit numeroase premii și distincții. Recent, i-a fost decernată Medalia Prezidențială a Libertății. În afară de cercetările sale din domeniul cosmologiei și fizicii fundamentale, a publicat cărți adresate publicului larg: *Scurtă istorie a timpului*, *Visul lui Einstein și alte eseuri*, *Universul într-o coajă de nucă* și (împreună cu Leonard Mlodinow) *O mai scurtă istorie a timpului*, toate apărute în traducere românească la Editura Humanitas. Trăiește la Cambridge, în Anglia.

Leonard Mlodinow este fizician la Institutul Tehnologic din California (Caltech). Este autorul mai multor bestselleruri și coscenarist la serialul *Star Trek: The Next Generation*. Trăiește în South Pasadena, California.

STEPHEN  
HAWKING

LEONARD MLODINOW

MARELE PLAN

Traducere din engleză de  
ANCA VIȘINESCU și MIHAI VIȘINESCU

 HUMANITAS  
BUCUREȘTI

Redactor: Vlad Zografi  
Coperta: Ioana Nedelcu  
Tehnoredactor: Manuela Măxineanu  
DTP: Iuliana Constantinescu, Dan Dulgheru  
Corector: Ioana Vilcu

Tipărit la Monitorul Oficial R.A.

Stephen W. Hawking and Leonard Mlodinow  
*The Grand Design*  
Copyright © 2010 by Stephen Hawking and Leonard Mlodinow  
Original art copyright © 2010 by Peter Bollinger  
All rights reserved.

© HUMANITAS, 2012, pentru prezenta versiune românească

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României  
HAWKING, STEPHEN W.  
Marele plan / Stephen Hawking, Leonard Mlodinow;  
trad.: Anca Vișinescu, Mihai Vișinescu. – București: Humanitas, 2012  
ISBN 978-973-50-3742-0  
I. Mlodinow, Leonard  
II. Vișinescu, Anca (trad.)  
III. Vișinescu, Mihai (trad.)  
524.8

EDITURA HUMANITAS  
Piața Presei Libere 1, 013701 București, România  
tel. 021/408 83 50, fax 021/408 83 51  
[www.humanitas.ro](http://www.humanitas.ro)

Comenzi online: [www.libhumanitas.ro](http://www.libhumanitas.ro)  
Comenzi prin e-mail: [vanzari@libhumanitas.ro](mailto:vanzari@libhumanitas.ro)  
Comenzi telefonice: 0372 743 382; 0723 684 194

## Misterul existenței

Fiecare dintre noi existăm doar pentru un scurt răstimp, iar în acest răstimp explorăm doar o mică parte din întregul univers. Oamenii sunt însă ființe curioase. Ne punem întrebări, căutăm răspunsuri. Trăind în această lume vastă, care e deopotrivă blândă și crudă, și privind imensitatea cerului de deasupra lor, oamenii și-au pus întotdeauna o mulțime de întrebări: Cum putem înțelege oare lumea în care ne aflăm? Cum se comportă universul? Care e natura realității? De unde vin toate acestea? Are nevoie universul de un creator? Mulți dintre noi nu ne batem prea mult capul cu aceste probleme, dar aproape toți ne-am pus asemenea întrebări măcar o dată.

În mod tradițional acestea sunt întrebări pentru filozofi, dar filozofia e moartă. Filozofia nu a ținut pasul cu dezvoltarea științei moderne, în special cu fizica. Oamenii de știință au devenit purtătorii torței descoperirilor în încercarea de a cunoaște lumea. Scopul cărții de față este să dea răspunsurile sugerate de descoperirile recente și de progresele teoretice. Ele ne conduc spre o nouă imagine a universului și a locului nostru în el, care diferă mult de imaginea tradițională, ba chiar și de cea pe care o puteam prezenta cu doar zece-douăzeci de ani în urmă. Și totuși, primele schițe ale noilor idei au apărut acum aproape un secol.

Conform concepției tradiționale despre univers, obiectele se deplasează pe traiectorii bine definite și au istorii neambigue. Putem preciza poziția lor exactă la fiecare moment de timp. Deși această descriere e suficient de bună pentru scopurile vieții de zi cu zi, pe la 1920 s-a dovedit că imaginea „clasică” nu poate explica acel comportament aparent bizar observat la scara atomică și subatomică a existenței. În locul ei a trebuit să fie adoptat un cadru diferit, numit fizică cuantică. Teoriile cuantice s-au dovedit remarcabil de exacte în prezicerea evenimentelor la scară atomică și subatomică, reproducând în același timp la scara macroscopică a evenimentelor cotidiene predicțiile vechilor teorii clasice. Cu toate acestea, fizica cuantică și fizica clasică se bazează pe concepții foarte diferite privind realitatea fizică.

Teoriile cuantice pot fi formulate în mai multe moduri, dar probabil că cea mai intuitivă descriere a fost dată de Richard (Dick) Feynman, un personaj extrem de pitoresc care lucra la Institutul Tehnologic din California și era percuționist la tobe africane bongo într-un bar de striptease din apropiere. Conform lui Feynman, un sistem nu are o singură istorie, ci toate istoriile posibile. Pe măsură ce vom căuta răspunsuri la întrebările noastre, vom explica în detaliu abordarea lui Feynman și o vom folosi pentru a analiza ideea că însuși universul nu are o singură istorie, și nici măcar o existență independentă. Pare o idee radicală chiar și pentru mulți fizicieni. Într-adevăr, la fel ca multe alte noțiuni din știința de azi, și aceasta pare să contrazică bunul-simț. Dar bunul-simț se întemeiază doar pe experiența cotidiană, iar nu pe univers, așa cum ni-l dezvăluie minunile tehnologiei, acelea care ne permit să privim adânc în interiorul atomului sau înapoi în timp către începuturile universului.

Până la apariția fizicii moderne se credea că toată cunoașterea lumii poate fi obținută prin observație directă, că lucrurile sunt ceea ce par a fi, așa cum le percep simțurile noastre. Succesul spectaculos al fizicii moderne, bazată pe idei precum cea a lui Feynman, care intră în contradicție cu experiența cotidiană, a arătat că lucrurile nu stau așa. Perspectiva naivă asupra realității nu e compatibilă cu fizica modernă. Pentru a trata asemenea paradoxuri vom adopta o abordare pe care o numim realism dependent de model. Ea se bazează pe ideea că informațiile provenind de la organele de simț sunt interpretate de creierul nostru prin crearea unui model al lumii. Atunci când modelul reușește să explice evenimentele, avem tendința să considerăm că modelul, împreună cu elementele și conceptele care îl alcătuiesc, reprezintă realitatea sau adevărul absolut. Pot exista însă diferite căi de a modela aceeași situație fizică, fiecare folosind elemente și concepte fundamental diferite. Dacă două asemenea teorii sau modele fizice prezic aceleași evenimente, nu se poate spune că una e mai reală decât alta, ci suntem liberi să folosim modelul care ne convine.

În istoria științei am descoperit un șir de teorii și modele tot mai bune, de la Platon la teoria clasică a lui Newton și până la teoriile cuantice moderne. E firesc să ne întrebăm: va ajunge oare acest șir în cele din urmă la un punct final, la o teorie ultimă a universului, care să includă toate forțele și să prezică orice observație care s-ar putea face, sau vom continua la nesfârșit să găsim teorii tot mai bune, dar nici una care să nu poată fi apoi îmbunătățită? Nu avem încă un răspuns definitiv la această întrebare, dar avem un candidat pentru o teorie finală, presupunând că ea există, numită teoria M. Teoria M este singurul model care are toate proprietățile pe care credem că ar

trebui să le aibă o teorie finală, iar ea este teoria pe care se bazează cea mai mare parte a considerațiilor ce urmează.

Teoria M nu e o teorie în sensul obișnuit al cuvântului. Ea este o întreagă familie de teorii diferite, fiecare dintre ele fiind o bună descriere a observațiilor doar dintr-un domeniu al situațiilor fizice. Cam la fel stau lucrurile și cu o hartă. După cum se știe, nu putem reprezenta întreaga suprafață a Pământului pe o singură hartă. Proiecția Mercator folosită în hărți face ca suprafețele să apară din ce în ce mai mari spre nord sau spre sud, și nu acoperă Polul Nord și Polul Sud. Pentru a cartografia fidel întregul Pământ, trebuie să folosim o colecție de hărți, fiecare acoperind o regiune limitată. Hărțile se suprapun, iar în porțiunile comune prezintă același peisaj. La fel stau lucrurile și cu teoria M. Teoriile din familia teoriei M pot părea foarte diferite, dar ele pot fi privite ca aspecte ale aceleiași teorii subiacente. Sunt versiuni ale teoriei aplicabile doar în domenii limitate – de pildă, atunci când unele cantități, cum ar fi energia, sunt mici. La fel ca hărțile în proiecția Mercator care se suprapun, când domeniile diferitelor versiuni se suprapun, ele vor prezice aceleași fenomene. Dar, așa cum nu există o hartă plană care să fie o bună reprezentare a întregii suprafețe a Pământului, nu există o unică teorie care să fie o bună reprezentare a observațiilor în toate situațiile.

Vom arăta cum poate oferi teoria M răspunsuri la problema creației. Conform teoriei M, universul nostru nu e singurul univers. Teoria M prezice că nenumărate universuri au fost create din nimic. Crearea lor nu presupune intervenția unei ființe supranaturale sau a unui zeu, ci aceste universuri multiple apar în chip natural din legile fizicii, sunt predicții ale științei. Fiecare univers are nume-



roase istorii posibile și numeroase stări posibile la momente ulterioare, cum ar fi cel de față, mult după crearea lui. Majoritatea acestor stări vor diferi semnificativ de cea a universului pe care-l observăm, și nu vor permite pesemne nici o formă de viață. Doar foarte puține vor fi potrivite pentru existența unor ființe ca noi. Prezența noastră selectează prin urmare din această gamă largă numai acele universuri compatibile cu existența noastră. Deși suntem mici și neînsemnați la scara cosmosului, într-un anume sens aceasta face din noi stăpânii creației.

Pentru a înțelege universul la nivelul cel mai profund, trebuie să știm nu numai *cum* se comportă universul, dar și *de ce*.

*De ce există ceva mai degrabă decât nimic?*

*De ce existăm?*

*De ce acest set particular de legi, și nu altele?*

Aceasta e Întrebarea Ultimă privind Viața, Universul și Tot ce Există. Vom încerca să dăm un răspuns în această carte. Spre deosebire de răspunsul din *Ghidul autostopistului galactic*, al nostru nu va fi „42”.<sup>1</sup>

---

1. *The Hitchhiker's Guide to the Galaxy* este titlul unui serial SF radiodifuzat de BBC (1978), adaptat apoi pentru televiziune și transformat în roman. Apare aici o rasă de ființe hiperinteligente care au construit un computer pentru a calcula răspunsurile la întrebările ultime privind viața, universul și tot ce există. Atunci când răspunsul computerului a fost „42”, s-a propus construirea unui computer mai puternic, proiectat să găsească întrebările pentru acest răspuns. (N. t.)

## Domnia legii

*Lupul Skoll va înspăimânta Luna*

*Zburând spre Pădurea Durerii:*

*Lupul Hati, neam cu Hridvitnir,*

*Va porni în urmărirea Soarelui.*

„Grimnismal“, *Edda*

În mitologia vikingilor, Skoll și Hati hăituiesc Soarele și Luna. Când lupii îl prind pe unul sau pe altul, are loc o eclipsă. Atunci când se întâmplă asta, oamenii de pe pământ fac cât mai mult zgomot ca să sperie lupii și să salveze Luna sau Soarele. Mituri asemănătoare se întâlnesc și în alte culturi. După un timp, oamenii trebuie să fi observat că Luna și Soarele apar din nou după eclipsă, indiferent cât război au făcut. Ei trebuie să fi observat și că eclipsele nu au loc la întâmplare: ele se repetă cu regularitate. Aceste regularități au fost evidente mai cu seamă pentru eclipsele de Lună și au permis vechilor babilonieni să le prezică destul de exact, deși nu-și dădeau seama că Pământul era acela care obtura lumina Soarelui. Eclipsele de Soare erau mai greu de prevăzut, fiindcă sunt vizibile doar în culoare cu o lățime de aproximativ 50 km. Și totuși, odată sesizate regularitățile, a devenit limpede că eclipsele nu depindeau de capriciile arbitrare ale ființelor supranaturale, ci erau guvernate de legi.

În ciuda unor prime succese în prezicerea mișcării corpurilor cerești, cele mai multe evenimente din natură păreau imposibil de anticipat pentru strămoșii noștri. Erupțiile vulcanice, cutremurele, furtunile, epidemiile, unghiile încarnate, toate păreau să apară fără vreo cauză sau vreo

regularitate vizibile. În timpurile de demult era firesc să pui acțiunile violente ale naturii pe seama unui întreg pantheon de divinități răutăcioase sau malefice. Calamitățile erau privite adesea drept un semn că cineva îi supăraseră pe zei. De exemplu, pe la 5600 î.Cr. a erupt vulcanul Mazama din Oregon, iar vreme de mai mulți ani au căzut din cer pietre și cenușă incandescentă, pentru ca ploile ulterioare să umple craterul vulcanului, formând ceea ce numim azi Lacul Crater. Indienii Klamath din Oregon au o legendă care se potrivește foarte bine cu toate detaliile geologice ale evenimentului, dar îi adaugă un element dramatic, spunând că un om a provocat catastrofa. Obsesia culpabilității îi poate face mereu pe oameni să dea vina pe ei înșiși. Conform legendei, Llao, stăpânul Lumii de Jos, s-a îndrăgostit de frumoasa fată a șefului tribului Klamath. Ea l-a refuzat, iar, drept răzbunare, Llao a încercat să distrugă tribul prin foc. Din fericire, spune legenda, Skell, stăpânul Lumii de Sus, s-a îndurat de oameni și s-a luptat cu omologul lui din subteran. În cele din urmă, rănit, Llao a căzut pe muntele Mazama făcând să apară o groapă uriașă, umplută apoi cu apă.

Necunoașterea legilor naturii i-a condus în trecut pe oameni să născocească zei răspunzători de toate aspectele vieții. Existau zei ai războiului și dragostei, ai Soarelui, Pământului și cerului, ai oceanelor și fluviilor, ai ploii și tunetelor, ba chiar și ai vulcanilor și ai cutremurelor. Dacă zeii erau mulțumiți, omenirea avea parte de vreme bună și de pace, fiind ferită de dezastre naturale și boli. Dacă se supărau, apăreau seceta, războiul, ciuma și epidemiile. Legătura dintre cauză și efect în natură nefiind vizibilă, acești zei păreau învăluiți în mister, iar oamenii se aflau la mila lor. Dar, odată cu Thales din Milet

(cca 624 – cca 546 î.Cr.), lucrurile au început să se schimbe. A încolțit ideea că natura urmează principii coerente care ar putea fi descifrate. Așa a început îndelungatul proces de înlocuire a ideii de domnie a zeilor cu perspectiva unui univers guvernat de legi ale naturii și creat conform unui plan pe care vom izbuti cândva să-l înțelegem.

Privită la scara istoriei omenirii, cercetarea științifică e o îndeletnicire foarte recentă. Specia noastră, *Homo sapiens*, a apărut în Africa subsahariană acum vreo 200 000 de ani. Scrierea a fost inventată abia pe la 7 000 î.Cr., în societățile axate pe cultura cerealelor. (Unele dintre cele mai vechi inscripții se referă la rația zilnică de bere alocată fiecărui cetățean.) Cele mai vechi documente scrise ale marii civilizații grecești datează din secolul IX î.Cr., dar ea își atinge apogeul, „perioada clasică”, câteva secole mai târziu, începând de pe la 500 î.Cr. Conform lui Aristotel (384 – 322 î.Cr.), cam pe-atunci a susținut Thales ideea că lumea poate fi înțeleasă, că fenomenele complexe din jurul nostru pot fi reduse la principii simple și explicate fără a recurge la mitologie sau teologie.

Despre Thales se spune că a fost primul care a prezis o eclipsă solară, în 585 î.Cr., dar marea precizie a acelei predicții a fost probabil o chestiune de șansă. El rămâne o figură obscură, care n-a lăsat în urmă vreo scriere. A trăit într-unul din centrele intelectuale ale regiunii numită Ionia, colonizată de greci și exercitând o influență ce s-a întins din Turcia de azi până în Italia. Știința ioniană s-a orientat către descoperirea unor legi fundamentale care să explice fenomenele din natură, reprezentând un moment de răscruce în istoria ideilor. Abordarea ei era una rațională, iar în multe cazuri a dus la concluzii surprinzător de asemănătoare celor obținute astăzi cu mijloace

mult mai sofisticate. Ea a reprezentat un început glorios, dar, cu trecerea secolelor, o mare parte din știința ioniană a căzut în uitare – pentru a fi apoi redescoperită sau reinventată, în unele cazuri de mai multe ori.

Legenda spune că prima formulare matematică a ceea ce am numi azi o lege a naturii a fost dată de un ionian pe nume Pitagora (cca 580 – cca 490 î.Cr.), vestit pentru teorema care îi poartă numele: pătratul ipotenuzei (latura cea mai lungă) a unui triunghi dreptunghic este egală cu suma pătratelor celorlalte două laturi. Se mai spune că Pitagora a descoperit relația numerică dintre lungimea corzilor folosite la instrumentele muzicale și combinațiile armonice ale sunetelor. În limbajul de azi, am spune că frecvența unei corzi întinse – numărul de vibrații pe secundă – este invers proporțională cu lungimea corzii. În plan concret, asta explică de ce chitara bas trebuie să aibă corzile mai lungi decât chitara obișnuită. Probabil că descoperirea nu-i aparține lui Pitagora – după cum nici teorema care-i poartă numele n-a descoperit-o el –, dar este evident că o relație între lungimea corzii și înălțimea sunetului era cunoscută pe vremea lui. În acest caz, am putea considera acea formulă matematică simplă drept primul exemplu pentru ceea ce numim acum fizică teoretică.

În afara legii lui Pitagora privind corzile, singurele legi ale fizicii cunoscute corect de antici au fost trei legi ale lui Arhimede (cca 287 – cca 212 î.Cr.), de departe cel mai strălucit fizician al Antichității. În termenii de azi, legea pârgھیilor arată că forțe mici pot ridica greutatea mari, deoarece pârgھیia amplifică forța cu un factor egal cu raportul distanțelor față de punctul de sprijin al pârgھیiei. Legea plutirii afirmă că orice obiect scufundat într-un fluid va fi împins în sus cu o forță egală cu greutatea fluidului

dislocuit. Legea reflexiei spune că unghiul format de un fascicul luminos incident și o oglindă este egal cu unghiul dintre oglindă și fasciculul reflectat. Arhimede nu le-a numit legi, nici nu le-a explicat referindu-se la observații și măsurători. El le-a tratat ca și cum ar fi fost pure teoreme matematice, într-un sistem axiomatic foarte asemănător celui pe care l-a creat Euclid pentru geometrie.

Pe măsură ce se răspândea influența ioniană, apăreau alte idei care spuneau că universul posedă o ordine internă, ordine ce putea fi înțeleasă prin observație și raționament. Anaximandru (cca 610 – cca 546 î.Cr.), prieten și pesemne discipol al lui Thales, susținea că, din moment ce copiii sunt neajutorați și neputincioși la naștere, dacă primul om care a apărut pe lume ar fi fost copil, el n-ar fi putut supraviețui. În ceea ce pare să fi fost prima trimitere la evoluție, Anaximandru s-a gândit că oamenii trebuie să fi evoluat din alte animale ai căror pui erau ceva mai robuști. În Sicilia, Empedocle (cca 490 – cca 430 î.Cr.) a studiat un instrument numit ceas cu apă. Folosit și ca polonic, el constă dintr-o sferă cu gât deschis și mici găuri la bază. Introdus în apă, se va umple, iar, dacă i se acoperă gâtul, sfera poate fi scoasă fără ca apa din ea să curgă prin găuri. Empedocle a observat că, atunci când se acoperă gâtul înainte de imersiune, sfera nu se umple. El a ajuns la concluzia că ceva invizibil trebuie să împiedice apa să intre în sferă prin găuri – adică a descoperit substanța materială pe care o numim aer.

Cam în același timp, într-o colonie ioniană din nordul Greciei, Democrit (cca 460 – cca 370 î.Cr.) a meditat la ce se întâmplă dacă tai sau spargi un obiect în bucăți. El susținea că procesul nu poate continua la nesfârșit. A postulat că totul, inclusiv ființele vii, este alcătuit din particule

fundamentale care nu mai pot fi tăiate sau sparte. El a numit aceste ultime particule atomi, de la adjectivul grecesc care înseamnă „imposibil de tăiat“. Democrit credea că orice fenomen material e produsul ciocnirii atomilor. Din perspectiva lui, numită atomism, toți atomii se mișcă prin spațiu, iar, dacă nu sunt perturbați, se deplasează la nesfârșit în linie dreaptă. Astăzi, această idee se numește legea inerției.

Ideea revoluționară că suntem doar niște locuitori obișnuiți ai universului, nu ființe privilegiate aflate în centrul lui, a fost pentru prima dată susținută de Aristarh (cca 310 – cca 230 î.Cr.), unul dintre ultimii savanți ionieni. A supraviețuit doar unul dintre calculele sale, o complexă analiză geometrică a observațiilor făcute de el asupra dimensiunii umbrei Pământului pe Lună în timpul unei eclipse lunare. Din datele obținute a tras concluzia că Soarele trebuie să fie mult mai mare decât Pământul. Inspirat probabil de ideea că obiectele mici trebuie să se rotească în jurul celor mari, și nu invers, el a fost primul care a susținut că Pământul nu e centrul sistemului nostru planetar, ci că, împreună cu celelalte planete, se rotește în jurul Soarelui. Mai era de făcut doar un mic pas de la ideea că Pământul este doar una dintre planete până la ideea că nici Soarele nostru nu are un statut privilegiat. Aristarh bănuia că așa stau lucrurile și credea că stelele pe care le vedem pe cerul nopții nu sunt decât sori îndepărtați.

Școala ioniană a fost doar una dintre numeroasele școli de filozofie grecești, cu orientări diferite, uneori contrare. Din păcate, perspectiva ioniană asupra naturii – natura poate fi explicată prin legi generale și redusă la un set simplu de principii – a exercitat o influență puternică doar vreme de câteva secole. Unul dintre motive este acela că

teoriile ioniene păreau adesea să nu lase loc pentru noțiunile de liber-arbitru sau de scop, ori pentru ideea că zeii intervin în treburile lumii. Aceste omisiuni surprinzătoare i-au tulburat profund pe mulți gânditori greci, așa cum se întâmplă și cu mulți oameni din zilele noastre. De exemplu, filozoful Epicur (341–270 î.Cr.) s-a opus atomismului pe principiul că „este mai bine să te lași călăuzit de miturile despre zei decât să devii «sclavul» destinului despre care vorbesc filozofii naturii”. Aristotel a respins de asemenea noțiunea de atom, fiindcă nu putea accepta faptul că oamenii sunt alcătuiți din obiecte neînsuflețite. Ideea ioniană că omul nu e centrul universului a fost un moment de răscruce în înțelegerea cosmosului, dar ea s-a pierdut și n-a mai fost reluată sau general acceptată până la Galilei, aproape douăzeci de secole mai târziu.

Cu toate că unele speculații ale vechilor greci privind natura au fost pătrunzătoare, cele mai multe dintre ideile lor nu sunt acceptabile științific în timpurile moderne. Întâi de toate, faptul că nu inventaseră metoda științifică a făcut ca unele dintre teoriile lor să nu fi fost elaborate cu scopul de a fi testate experimental. Astfel, dacă un învățat pretindea că un atom se mișcă în linie dreaptă până se ciocnește de un al doilea atom, iar alt învățat pretindea că se mișcă în linie dreaptă până se ciocnește de un ciclop, nu exista o cale obiectivă de a tranșa disputa. De asemenea, nu se făcea o deosebire netă între legile fizicii și cele umane. În secolul V î.Cr., de pildă, Anaximandru scria că toate lucrurile provin dintr-o substanță primordială, iar apoi se întorc la ea, „căci ele trebuie să dea socoteală unele altora pentru nedreptatea făcută”. Conform filozofului ionian Heraclit (cca 535 – cca 475 î.Cr.), Soarele se comportă așa cum o face fiindcă altminteri zeița dreptății



l-ar doborî. Câteva sute de ani mai târziu stoicii, adepții unei școli grecești de filozofie apărută în secolul III î.Cr., făceau distincția între codurile de legi ale oamenilor și legile naturii, dar includeau acele reguli de conduită umană pe care le considerau universale – ca venerarea zeilor și supunerea față de părinți – în categoria legilor naturii. Invers, ei prezentau adesea procese fizice în termeni juridici, și credeau că e necesară aplicarea unor constrângeri, chiar dacă obiectele care trebuiau să se „supună” erau neînsuflețite. Dacă vi se pare că e greu să-i faci pe oameni să respecte codul rutier, imaginați-vă că vă apucați să convingeți un asteroid să se miște de-a lungul unei elipse.

Această tradiție a continuat să-i influențeze pe gânditori încă multe veacuri. Filozoful creștin Toma de Aquino (cca 1225–1274) a adoptat această perspectivă și a folosit-o pentru a demonstra existența lui Dumnezeu: „Este limpede că [obiectele neînsuflețite] își ating scopul nu din întâmplare, ci în chip voit. [...] Există prin urmare o ființă inteligentă grație căreia fiecare lucru din natură e rânduit pentru scopul său.” Chiar și în secolul XVI, marele astronom german Johannes Kepler (1571–1630) credea că planetele au percepții senzoriale și urmează conștient legile de mișcare pe care le-au înțeles cu „mintea” lor.

Ideea că legile naturii trebuie respectate în mod deliberat reflectă accentul pus de antici pe întrebarea *de ce* natura se comportă așa cum se comportă, iar nu pe întrebarea *cum* se comportă ea. Aristotel a fost unul dintre cei mai importanți exponenți ai acestei abordări, respingând ideea de știință bazată în principal pe observație. Măsurătorile precise și calculele matematice erau oricum dificile în acele vremuri. Notăția zecimală a numerelor,

pe care o găsim atât de comodă în aritmetică, datează abia de pe la anul 700, când indienii au făcut primii pași pentru ca aceasta să devină un instrument puternic. Simbolurile pentru plus sau minus nu au apărut până în secolul XV. Nici semnul egal, nici ceasuri care să măsoare secunda nu au existat până în secolul XVI.

Aristotel nu considera însă că problemele legate de măsurători și calcule erau piedici în dezvoltarea unei fizici care să facă predicții cantitative, ci părea să nu aibă nevoie de măsurători și calcule. Aristotel și-a clădit fizica pe principii care îl atrăgeau la nivel pur intelectual. A eliminat faptele care îi dis plăceau și și-a concentrat eforturile asupra motivelor pentru care lucrurile se întâmplă, investind relativ puțină energie în prezentarea detaliată a ce anume se întâmplă. Aristotel și-a ajustat concluziile doar atunci când contradicțiile flagrante cu observația nu mai puteau fi ignorate. Aceste ajustări erau adesea explicații ad-hoc care mai curând ascundeau contradicțiile. Astfel, oricât de mult se abătea teoria sa de la realitate, el putea întotdeauna s-o modifice suficient cât să pară că a eliminat contradicția. De exemplu, în teoria sa privind mișcarea, viteza căderii libere a corpurilor era proporțională cu greutatea lor. Pentru a explica faptul că aceste obiecte își sporesc viteza pe măsură ce cad, el a inventat un nou principiu – corpurile acționează mai vioi, și deci accelerează, atunci când se apropie de locul lor normal de repaus, un principiu care astăzi ni se pare mai potrivit pentru descrierea comportamentului unor oameni decât pentru cel al obiectelor neînsuflețite. Deși teoriile lui Aristotel aveau de cele mai multe ori o slabă valoare de predicție, perspectiva sa asupra științei a dominat gândirea occidentală timp de aproape două mii de ani.

Continuatorii creștini ai grecilor au respins ideea că universul e condus de legi naturale indiferente. Ei au respins de asemenea ideea că oamenii nu ocupă un loc privilegiat în univers. Deși în Evul Mediu n-a apărut nici un sistem filozofic coerent, tema comună a fost aceea că universul este jucăria lui Dumnezeu, iar religia merită mult mai mult să fie studiată decât fenomenele naturii. În 1277, Etienne Tempier, episcopul Parisului, a publicat la indicația papei Ioan al XXI-lea o listă cu 219 erori sau erezii care trebuiau condamnate. Printre erezii se afla și ideea că natura s-ar supune unor legi, deoarece asta ar intra în contradicție cu atotputernicia lui Dumnezeu. E interesant de observat că papa Ioan a fost ucis de efectele legii gravitației câteva luni mai târziu, când acoperișul palatului a căzut peste el.

Noțiunea modernă de lege a naturii a apărut în secolul XVII. Kepler pare să fi fost primul om de știință care a înțeles termenul în sensul modern, deși, după cum am mai spus, el a păstrat o perspectivă animistă asupra obiectelor fizice. Galilei (1564–1642) nu a folosit termenul de „lege” în cea mai mare parte a lucrărilor sale științifice (dar el apare în unele traduceri ale lor). Indiferent dacă a folosit sau nu cuvântul, Galilei a dezvăluit multe legi și a pledat pentru principii importante potrivit cărora observația este fundamentul științei, iar scopul științei e să studieze relațiile cantitative dintre fenomenele fizice. Omul care a formulat însă prima dată explicit și riguros conceptul de lege a naturii așa cum îl înțelegem astăzi a fost René Descartes (1596–1650).

Descartes credea că toate fenomenele fizice trebuie explicate prin ciocnirile maselor în mișcare, guvernate de trei legi – precursorile faimoaselor legi ale mișcării formulate

de Newton. El susținea că aceste legi sunt valabile pretutindeni și oricând, și afirma explicit că respectarea lor nu implică faptul că acele corpuri în mișcare ar fi însuflețite. Descartes a înțeles de asemenea importanța a ceea ce noi numim astăzi „condiții inițiale”. Acestea descriu starea unui sistem asupra căruia căutăm să facem predicții la începutul intervalului de timp considerat. Cu un set dat de condiții inițiale, legile naturii determină evoluția în timp a unui sistem, dar, fără un set de condiții inițiale, evoluția nu poate fi precizată. Dacă, de exemplu, la momentul zero un porumbel lasă să cadă ceva fix deasupra noastră, traiectoria acestui obiect în cădere este determinată de legile lui Newton. Rezultatul va fi cu totul diferit dacă la momentul zero porumbelul stă liniștit pe un cablu telefonic sau dacă zboară cu 30 de kilometri pe oră. Pentru a aplica legile fizicii trebuie să cunoaștem cum a început sistemul, sau cel puțin care a fost starea sa la un moment dat. (Putem folosi legile și pentru a urmări evoluția sistemului înapoi în timp.)

Odată cu reînnoirea credinței în existența legilor naturii au venit și încercările de reconciliere a acestor legi cu noțiunea de Dumnezeu. Conform lui Descartes, Dumnezeu ar putea modifica după dorința lui adevărul sau falsitatea unor afirmații care țin de etică sau ale unor teoreme matematice, dar nu și natura. El credea că Dumnezeu a binecuvântat legile naturii, dar nu le-a putut alege, ci le-a impus pentru că legile pe care le cunoaștem sunt singurele posibile. Aceasta părea să însemne o știrbire a autorității lui Dumnezeu, însă Descartes s-a eschivat spunând că legile sunt de neschimbat fiindcă reflectă natura intrinsecă a lui Dumnezeu. Dacă ar fi adevărat, ne-am putea gândi că Dumnezeu a avut de ales în momentul creației între

mai multe lumi, fiecare corespunzând unui set diferit de condiții inițiale, dar Descartes nega și această posibilitate. Indiferent care a fost dispunerea materiei la începutul universului, susținea el, în timp ar fi apărut oricum o lume identică cu a noastră. Mai mult, după ce Dumnezeu a inițiat lumea, a lăsat-o complet singură.

O poziție asemănătoare (cu unele excepții) a fost adoptată și de Isaac Newton (1643–1727). Newton este cel considerat în general părintele conceptului modern de lege științifică, prin cele trei legi ale mișcării și prin legea gravitației, care explică orbitele Pământului, Lunii și planetelor, precum și fenomene cum sunt marile. Cele câteva ecuații ale sale, și cadrul matematic complex pe care l-am dedus de atunci din acestea, se învață și astăzi și sunt folosite ori de câte ori un arhitect proiectează o clădire, un inginer proiectează o mașină sau un fizician calculează traiectoria unei rachete destinate să ajungă pe Marte. După cum spunea poetul Alexander Pope:

*Natura și legile Naturii zăceau ascunse în beznă:*

*Dumnezeu a spus Să fie Newton! și s-a făcut lumină.*

Astăzi, majoritatea oamenilor de știință ar spune că o lege a naturii este o regulă care se bazează pe o regularitate observată și oferă predicții care merg dincolo de situațiile nemijlocite pe care se bazează. De pildă, am putea să observăm că Soarele răsare la est în fiecare dimineață și să postulăm legea „Soarele răsare întotdeauna la est”. Aceasta e o generalizare care merge dincolo de observațiile noastre limitate privind răsăritul Soarelui, și face predicții testabile asupra viitorului. Pe de altă parte, o afirmație de genul „Toate computerele din acest departament

sunt negre“ nu este o lege a naturii, fiindcă se referă numai la computerele dintr-un departament și nu face predicții de genul „Dacă departamentul meu va cumpăra un computer nou, acesta va fi negru“.

Semnificația pe care o dăm termenului de „lege a naturii“ e subiectul unei dezbateri aprinse între filozofi și e o problemă mai subtilă decât pare la prima vedere. De pildă, filozoful John W. Carroll a comparat propoziția „Toate sferile de aur au un diametru mai mic de un kilometru“ cu propoziția „Toate sferile de uraniu-235 au un diametru mai mic de un kilometru“. Observațiile pe care le facem asupra lumii ne spun că nu există o sferă de aur mai mare de un kilometru, și putem fi aproape siguri că nici nu se va găsi vreodată. Totuși, nu avem vreun motiv să credem că o asemenea sferă n-ar putea exista, iar astfel această propoziție nu e considerată o lege. Pe de altă parte, propoziția „Toate sferile de uraniu-235 au un diametru mai mic de un kilometru“ poate fi considerată o lege a naturii, deoarece conform celor cunoscute din fizica nucleară, dacă o sferă de uraniu-235 ajunge la un diametru mai mare de 15 cm, ea se distruge pe sine însăși printr-o explozie nucleară. Suntem așadar siguri că o asemenea sferă nu există. (Și n-ar fi o idee bună să încerci să faci una!) Această deosebire e semnificativă, deoarece arată că nu toate generalizările noastre pot fi considerate legi ale naturii și că cele mai multe legi ale naturii aparțin unui sistem mai vast de legi interconectate.

În știința modernă legile naturii sunt de regulă exprimate matematic. Ele pot fi exacte sau aproximative, dar trebuie să se aplice fără excepție – dacă nu în mod universal, cel puțin în cadrul unui set de condiții precizat. De pildă, știm că legile lui Newton trebuie modificate

dacă obiectele se deplasează cu viteze apropiate de viteza luminii. Cu toate acestea, considerăm că legile lui Newton rămân în continuare legi, deoarece sunt valabile cu o foarte bună aproximație în condițiile lumii obișnuite, unde vitezele cu care avem de-a face sunt foarte departe de viteza luminii.

Dacă natura e guvernată de legi, se pun trei întrebări:

1. Care este originea legilor?
2. Există excepții de la legi, de pildă miracole?
3. Există un singur set de legi posibile?

Aceste întrebări importante au fost puse în diferite moduri de oameni de știință, filozofi și teologi. Răspunsul tradițional la prima întrebare – răspunsul lui Kepler, Galilei, Descartes și Newton – a fost că legile sunt creația lui Dumnezeu. Răspunsul însă nu e decât o definiție a lui Dumnezeu ca întruchipare a legilor naturii. Dacă nu-l înzestrăm pe Dumnezeu și cu alte însușiri, de pildă aceea de a fi Dumnezeul Vechiului Testament, apelul la Dumnezeu în răspunsul la prima întrebare nu face decât să înlocuiască un mister cu altul. Astfel, dacă îl implicăm pe Dumnezeu în răspunsul la prima întrebare, adevărata problemă apare la a doua întrebare: Există miracole, excepții de la legi?

Opiniile legate de răspunsul la a doua întrebare diferă mult. Platon și Aristotel, cei mai influenți gânditori ai Greciei antice, au susținut că nu pot exista excepții de la legi. Din perspectivă biblică însă, Dumnezeu nu numai că a creat legile, dar poate fi rugat și să facă excepții – să-i vindece pe bolnavii incurabili, să curme prematur seceta sau să reintroducă crichetul între disciplinele olimpice.

Spre deosebire de Descartes, aproape toți gânditorii creștini susțineau că Dumnezeu trebuie să poată suspenda legile pentru a înlăptui miracole. Până și Newton credea într-un fel de miracole. El se gândea că orbitele planetelor sunt instabile din cauza atracției gravitaționale dintre planete, iar că aceasta ar produce perturbații asupra orbitelor, care cu timpul ar face ca planetele fie să cadă pe Soare, fie să părăsească sistemul solar. Dumnezeu trebuie să restabilească orbitele, credea el, sau „să întoarcă ceasul ceresc, ca nu cumva acesta să se oprească”. Pierre-Simon, marchiz de Laplace (1749–1827), cunoscut îndeobște ca Laplace, a susținut însă că perturbațiile ar trebui să fie periodice, caracterizate deci prin cicluri repetate, iar nu cumulative. Sistemul solar s-ar restabili astfel singur și n-ar mai fi nevoie de intervenția divină pentru a explica de ce a supraviețuit până în zilele noastre.

Se consideră că Laplace a fost primul care a postulat clar determinismul științific: dată fiind starea universului la un moment dat, un set complet de legi determină în întregime atât viitorul, cât și trecutul. Aceasta ar exclude posibilitatea miracolelor sau un rol activ al divinității. Determinismul științific formulat de Laplace este răspunsul omului de știință modern la cea de-a doua întrebare. Acest principiu este, de fapt, baza întregii științe moderne și va juca un rol important în această carte. Dacă o lege științifică ar acționa doar atunci când o ființă supranaturală se hotărăște să nu intervină, atunci n-ar mai fi o lege științifică. Se spune că, aflând asta, Napoleon l-ar fi întrebat pe Laplace care e locul lui Dumnezeu în acest cadru. Laplace ar fi răspuns: „Sire, nu am nevoie de această ipoteză.”

Deoarece oamenii trăiesc în univers și interacționează cu celelalte obiecte din el, determinismul științific trebuie



să funcționeze și în privința oamenilor. Dar, deși acceptă că determinismul științific guvernează procesele fizice, mulți ar face o excepție pentru comportamentul uman, deoarece ei cred că avem liber-arbitru. Descartes, de exemplu, pentru a păstra ideea liberului-arbitru, spunea că mintea omenească se deosebește de lumea fizică și nu urmează legile ei. Pentru el, un om era alcătuit din două părți: un corp și un suflet. Corpurile nu sunt decât mecanisme obișnuite, dar sufletul nu se supune legilor științei. Descartes era foarte preocupat de anatomie și fiziologie, și credea că un mic organ din centrul creierului numit glanda pineală este principalul sediu al sufletului. Această glandă ar fi, potrivit lui Descarte, locul unde se formează toate gândurile noastre, izvorul nesecat al liberului-arbitru.

Au oare oamenii liber-arbitru? Dacă îl avem, unde anume în arborele evoluției a apărut el? Algele albastre-verzi sau bacteriile au liber-arbitru, ori comportamentul lor e automat și conform legilor științei? Oare doar organismele pluricelulare au liber-arbitru, sau numai mamiferele? Ne-am putea închipui că un cimpanzeu își exercită liberul-arbitru atunci când alege să înfulece o banană sau o pisică atunci când zgârie canapeaua, dar ce putem spune despre un vierme cilindric, numit *Caenorhabditis elegans* – o ființă simplă, alcătuită din doar 959 de celule? Probabil că el nu gândește niciodată „Ce gustoasă a fost bacteria pe care tocmai am mâncat-o“, deși are și el preferințe alimentare, și fie va accepta un prânz prea puțin ispititor, fie va căuta ceva mai bun, în funcție de experiența sa recentă. Reprezintă oare aceasta exercitarea liberului-arbitru?

Deși credem că putem alege ce să facem, studiul bazelor moleculare ale biologiei ne arată că procesele biologice sunt guvernate de legi ale fizicii și chimiei, fiind deci

determinate în aceeași măsură ca orbitele planetelor. Experimente neurologice recente vin în sprijinul ideii că acțiunile noastre sunt determinate de creierul nostru fizic, care se supune legilor cunoscute ale științei, iar nu de vreun agent care se sustrage acestor legi. De exemplu, un studiu asupra pacienților care sunt operați pe creier fără anestezie generală a arătat că, prin stimularea electrică a anumitor zone, pacientului îi poate fi indusă dorința de a mișca o mână, un braț ori un picior, sau dorința de a mișca buzele și a vorbi. Este greu de închipuit cum ar putea acționa liberul-arbitru când comportamentul nostru e determinat de legi fizice, așa încât s-ar părea că nu suntem decât niște mecanisme biologice, iar liberul-arbitru e doar o iluzie.

Admițând că legile naturii guvernează comportamentul uman, pare rezonabil de asemenea să tragem concluzia că rezultatul e determinat într-un mod atât de complicat și are atât de multe variabile, încât în practică este imposibil de prezis. Pentru a-l prezice, ar trebui să cunoaștem starea inițială a fiecăreia dintre cele o mie de bilioane de bilioane de molecule din corpul uman și să rezolvăm un număr similar de ecuații. Aceste calcule ar dura câteva miliarde de ani, iar rezultatul ar sosi cam târziu pentru ca acela asupra căruia pornește o lovitură să mai aibă vreme să se ferească.

Fiind atât de nepotrivit să folosim legile fizicii pentru a prezice comportamentul uman, adoptăm ceea ce se numește o teorie eficientă. În fizică, o teorie eficientă este un cadru creat pentru modelarea unor fenomene observate, fără să descriem în detaliu toate procesele subiacente. De exemplu, nu putem rezolva exact ecuațiile care guvernează interacțiunile gravitaționale ale fiecărui atom din

corpul unui om cu fiecare atom de pe Pământ. Pentru scopurile practice însă, forțele gravitaționale dintre un om și Pământ pot fi descrise prin doar câteva numere, cum e masa totală a acelui om. La fel, nu putem rezolva ecuațiile ce descriu comportamentul unor atomi complecși sau al unor molecule, dar putem elabora o teorie eficientă numită chimie, care ne furnizează o explicație acceptabilă privind comportamentul atomilor și moleculelor în reacțiile chimice, fără a calcula toate detaliile interacțiilor. În cazul oamenilor, deoarece nu putem rezolva ecuațiile care ne determină comportamentul, folosim teoria eficientă a liberului-arbitru. Studiul înclinațiilor noastre și al comportamentului ce derivă din ele este știința psihologiei. Știința economică e de asemenea o teorie eficientă, bazată pe noțiunea de liber-arbitru și pe presupunerea că oamenii își evaluează diversele opțiuni și o aleg pe cea mai bună. Această teorie eficientă are însă o capacitate limitată de a prezice comportamentul, deoarece, așa cum bine știm, hotărârile noastre sunt adesea iraționale sau se bazează pe o analiză incorectă a consecințelor alegerii. De aceea în lume e atâta dezordine.

Cea de-a treia întrebare atacă problema unicității legilor care determină deopotrivă universul și comportamentul uman. Dacă răspunsul vostru la prima întrebare este acela că Dumnezeu a creat legile, atunci problema care se pune este dacă Dumnezeu a avut posibilitatea să le aleagă. Aristotel și Platon, iar mai târziu și Descartes și Einstein credeau că principiile naturii există în chip „necesar”, altfel spus, pentru că sunt singurele reguli care au sens logic. Datorită credinței că legile naturii își au originea în logică, Aristotel și urmașii săi considerau că legile pot fi „deduse” fără a acorda prea multă atenție comportamentului naturii.

Aceasta, precum și faptul că se întreba mai curând de ce obiectele se supun legilor decât cum arată legile, l-a condus pe Aristotel la legi mai degrabă calitative, adesea greșite, care oricum nu s-au dovedit prea utile, chiar dacă au dominat gândirea științifică timp de secole. Abia mult mai târziu oameni precum Galilei au îndrăznit să conteste autoritatea lui Aristotel și să observe ce anume face natura, iar nu ce ne spune „rațiunea” pură că ar trebui ea să facă.

Această carte se întemeiază pe conceptul de determinism științific, din care rezultă că răspunsul la întrebarea a doua este că nu există miracole sau excepții de la legile naturii. Ne vom întoarce la prima și la a treia întrebare, cele legate de originea legilor și de unicitatea lor, pentru a le analiza în profunzime. Mai întâi însă, în capitolul următor, vom vedea ce anume descriu legile naturii. Majoritatea oamenilor de știință ar spune că ele sunt reflectarea matematică a unei realități exterioare ce există independent de observatorul care o vede. Dar, când analizăm mai atent felul în care ne facem observațiile și ne construim concepte despre ceea ce ne înconjoară, ajungem să ne întrebăm dacă avem motive întemeiate să credem că există o realitate obiectivă.

## Ce este realitatea?

Acum câțiva ani, consiliul municipal din Monza, Italia, a interzis ținerea peștișorilor în acvarii de formă sferică. Inițiatorul măsurii a explicat interdicția spunând că e o cruzime să ții peștii într-un vas cu pereți curbați, deoarece ar avea o perspectivă distorsionată asupra realității. De unde știm însă care este adevărata, nedistorsionata imagine a realității? Nu cumva ne aflăm și noi înșine într-un imens acvariu sferic, iar perspectiva noastră e distorsionată de o lentilă uriașă? Imaginea pe care și-o fac peștișorii despre realitate e diferită de a noastră, dar de unde știm că e mai puțin reală?

Imaginea peștișorilor nu e aceeași cu a noastră, dar și ei ar putea formula legi științifice care să guverneze mișcarea obiectelor pe care le observă în afara bolului. De pildă, din cauza distorsiunii, un obiect care se mișcă liber, pe care noi îl vedem deplasându-se în linie dreaptă, va avea, pentru peștișori, o traiectorie curbă. Cu toate acestea, peștișorii ar putea formula legi științifice în sistemul lor de referință distorsionat, legi care ar fi mereu valabile și pe baza cărora ar putea face predicții despre mișcarea viitoare a obiectelor din afara bolului. Legile lor ar fi mai complicate decât legile din sistemul nostru de referință, dar simplitatea e o chestiune de gust. Dacă un peștișor ar formula o asemenea

teorie, ar trebui să acceptăm că perspectiva lui e o reprezentare valabilă a realității.

Un exemplu celebru de reprezentare diferită a realității este modelul propus pe la anul 150 de Ptolemeu (cca 85 – cca 165) pentru a descrie mișcarea corpurilor cerești. Ptolemeu și-a publicat ideile într-un tratat conținând 13 cărți, cunoscut mai ales sub numele său arab, *Almagest*. Acesta începe prin a explica motivele de a crede că Pământul e sferic, nemișcat, se află în centrul universului și e neglijabil de mic în raport cu distanța până la cer. În ciuda modelului heliocentric al lui Aristarh, asemenea credințe fuseseră împărtășite de cei mai învățați dintre greci, cel puțin în epoca de după Aristotel, care credea din motive mistice că Pământul trebuie să se afle în centrul universului. În modelul ptolemeic Pământul e situat în centru, iar planetele și stelele se mișcă în jurul lui pe orbite complicate care implică epicicluri, ca niște roți fixate pe alte roți.

Modelul pare firesc, fiindcă nu simțim că Pământul se mișcă sub picioarele noastre (cu excepția cutremurelor sau a momentelor pasionale). Sistemul de învățământ european de mai târziu s-a bazat pe surse grecești, așa încât ideile lui Aristotel și ale lui Ptolemeu au devenit în bună măsură fundamentul gândirii occidentale. Modelul cosmic al lui Ptolemeu a fost adoptat de Biserica Catolică și considerat doctrină oficială timp de 14 secole. Abia în 1543 Copernic a propus un model alternativ în lucrarea *De revolutionibus orbium coelestium* (*Despre mișcările de revoluție ale corpurilor cerești*), publicată abia în anul morții sale (deși lucrase la teoria sa câteva decenii).

La fel ca Aristarh cu 17 secole mai devreme, Copernic a prezentat o lume în care Soarele e în repaus, iar planetele se rotesc în jurul său pe orbite circulare. Deși ideea nu

era nouă, resuscitarea ei a fost întâmpinată cu o rezistență înverșunată. Se considera că modelul intră în contradicție cu Biblia, care era interpretată ca și cum ar spune că planetele se mișcă în jurul Pământului, deși în Biblie nu se menționează clar așa ceva. De fapt, la vremea când a fost scrisă Biblia se credea că Pământul e plat. Modelul copernican a condus la dezbateri furibunde privind mișcarea sau nemișcarea Pământului, culminând cu procesul lui Galilei, care a fost acuzat de erezie în 1633 pentru că a susținut modelul copernican și pentru că credea că „poate fi susținută și considerată probabil corectă o opinie care a fost declarată contrară Sfântei Scripturi“. A fost găsit vinovat, condamnat la domiciliu forțat pentru tot restul vieții și obligat să abjure. Se spune că ar fi șoptit „*Eppur si muove*“, adică „Și totuși se mișcă“. În 1992, Biserica Romano-Catolică a recunoscut că săvârșise o greșeală condamnându-l pe Galilei.

Așadar, care este cel adevărat, sistemul ptolemeic sau cel copernican? Deși se consideră că acela care a demonstrat falsitatea sistemului lui Ptolemeu a fost Copernic, lucrurile nu stau așa. Ca și în cazul relației dintre vederea normală și cea a peștișorului din acvariu, se poate folosi oricare dintre perspective ca model al universului, pentru că observațiile astronomice pot fi explicate considerând că se află în repaus fie Pământul, fie Soarele. În ciuda rolului său în dezbaterile filozofice privind natura universului, avantajul real al sistemului copernican este acela că ecuațiile de mișcare sunt mult mai simple în sistemul de referință în care Soarele se află în repaus.

Un alt tip de realitate alternativă apare în filmul SF *Matrix*, în care omenirea trăiește fără să știe într-o realitate virtuală simulată, creată de computere inteligente spre a

o menține împăcată și mulțumită, în timp ce computerele îi absorb energia bioelectrică (indiferent ce este aceea). Poate că nu e o exagerare, deoarece mulți preferă să-și omoare timpul în realitatea simulată a unor site-uri gen Second Life. De unde știm că nu suntem cu adevărat personaje într-o telenovelă creată de calculator? Dacă am trăi într-o lume artificială imaginară, atunci evenimentele n-ar trebui să aibă neapărat logică sau coerență și să asculte de legi. Extraterestrii care controlează totul ar putea găsi că e mai interesant sau mai amuzant să ne vadă reacțiile dacă, de pildă, Luna s-ar rupe în două sau dacă întreaga omenire ar fi cuprinsă de o poftă irepresibilă pentru prăjiturile cu cremă de banane. Dar, dacă extraterestrii ar impune într-adevăr legi coerente, ne-ar fi imposibil să ne dăm seama că există o altă realitate în spatele celei simulate. Am putea, desigur, numi lumea în care trăiesc extraterestrii „reală”, iar pe cea sintetică „falsă”. Dar, dacă – la fel ca noi – ființele din lumea simulată nu-și pot privi universul din afară, ele n-ar avea nici un motiv să se îndoiască de propria lor imagine asupra realității. Aceasta e o versiune modernă a ideii că suntem cu toții plăsmuiri ale visului cuiva.

Exemplele precedente ne conduc la o concluzie care va fi importantă în această carte: *Nu există nici o noțiune de realitate independentă de imagine sau de teorie*. Vom adopta o perspectivă pe care o vom numi realism dependent de model: ideea că o teorie fizică sau o imagine a lumii este un model (în general de natură matematică) și un set de reguli ce leagă elementele modelului de observații. Acesta ne oferă cadrul pentru interpretarea științei moderne.

Da la Platon încoace, filozofii au dezbatut îndelung problema naturii realității. Știința clasică se întemeiază



pe credința că există o lume exterioară reală ale cărei proprietăți sunt bine definite și independente de observatorul care le percepe. Conform științei clasice, există anumite obiecte care au proprietăți fizice precum masa și viteza, cu valori bine definite. Din această perspectivă, teoriile noastre sunt încercări de a descrie acele obiecte și proprietățile lor, iar măsurătorile și percepțiile noastre sunt în acord cu ele. Atât observatorul, cât și obiectul observat sunt părți ale unei lumi având o existență obiectivă, iar între ei nu se pot face distincții semnificative. Cu alte cuvinte, dacă vezi o turmă de zebre care se înghesuie într-un garaj, atunci înseamnă că există într-adevăr o turmă de zebre care se înghesuie într-un garaj. Toți ceilalți observatori care privesc vor măsura aceleași proprietăți, iar turma va avea acele proprietăți indiferent dacă e sau nu cineva care s-o privească. În filozofie, această perspectivă se numește realism.

Chiar dacă realismul poate fi un punct de vedere tentant, vom vedea mai târziu că ceea ce știm despre fizica modernă îl face greu de apărat. De exemplu, conform principiilor fizicii cuantice, care e o descriere precisă a naturii, o particulă nu poate avea simultan atât poziția, cât și viteza bine definite, atunci când sunt măsurate de un observator. Așadar, *nu* e corect să spunem că o măsurătoare dă un anumit rezultat deoarece cantitatea măsurată a avut acea valoare la momentul când s-a făcut măsurătoarea. De fapt, în unele cazuri obiectele individuale nici măcar nu au o existență independentă, ci există doar ca parte a unui ansamblu de mai multe obiecte. Și, dacă teoria numită principiul holografic se va dovedi corectă, atunci noi și lumea noastră în patru dimensiuni am putea fi umbre pe frontiera

unui spațiu-timp mai vast, cu cinci dimensiuni. În acest caz, statutul nostru în univers ar semăna cu acela al peștișorului din acvariu.

Realistii intransigenți susțin deseori că dovada faptului că anumite teorii științifice reprezintă realitatea e dată de succesul lor. Dar același fenomen poate fi descris cu succes de teorii diferite, folosind cadre conceptuale diferite. De fapt, multe teorii științifice care s-au dovedit de succes au fost ulterior înlocuite cu altele, de asemenea de succes, bazate pe idei cu totul noi privind realitatea.

În mod tradițional, aceia care nu acceptă realismul au fost numiți antirealiști. Antirealiștii pornesc de la presupunerea că există o deosebire între cunoașterea empirică și cea teoretică. Ei susțin în general că observația și experimentul au sens deplin, iar teoriile nu sunt decât instrumente utile care nu conțin adevăruri mai profunde aflate în spatele fenomenelor observate. Unii antirealiști au vrut să limiteze știința doar la lucrurile ce pot fi observate. Din acest motiv, în secolul XIX mulți au respins ideea de atom pe baza faptului că nu vom putea vedea niciodată vreunul. George Berkeley (1685–1753) a mers până la a spune că nu există nimic în afara minții și ideilor noastre. Atunci când un prieten i-a spus scriitorului și lexicografului englez Samuel Johnson (1709–1784) că afirmația lui Berkley nu poate fi respinsă, se spune că Johnson i-ar fi răspuns ducându-se la o piatră mare, lovind-o cu piciorul și declarând: „Uite că o resping.” Evident, durerea resimțită la picior era de asemenea doar o idee a minții sale, așa-dar Johnson n-a respins cu adevărat ideile lui Berkley. Acțiunea lui ilustra însă perspectiva filozofului David Hume (1717–1776), care spunea că, deși nu avem temeieri raționale de a crede într-o realitate obiectivă, nu avem

nici vreo altă soluție decât să acționăm ca și cum ar exista o realitate obiectivă.

Realismul dependent de model scurtcircuitază toate aceste raționamente și dispute între școlile de gândire realistă și antirealistă. Conform realismului dependent de model, n-are sens să te întrebi dacă un model e real doar pe baza acordului în care se află cu observațiile. Dacă există două modele, ambele în acord cu observațiile, ca în cazul reprezentării noastre și a peștișorului din acvariu, nu se poate spune că unul e mai real decât celălalt. Putem folosi orice model care ni se pare mai potrivit în situația considerată. De exemplu, pentru cineva aflat în bol imaginea peștișorului ar putea fi folositoare, dar pentru cei din exterior ar fi deosebit de incomod să descrie evenimentele dintr-o galaxie îndepărtată în sistemul de referință al unui bol de pe Pământ, mai ales că bolul se mișcă atunci când Pământul se rotește în jurul Soarelui și se învâрте în jurul axei proprii.

Creăm modele în știință, dar și în viața de fiecare zi. Realismul dependent de model se aplică nu doar modelelor științifice, dar și modelelor mentale pe care ni le creăm cu toții, la nivel conștient sau subconștient, pentru a interpreta și înțelege lumea de zi cu zi. Nu putem elimina observatorul – noi înșine – din percepția noastră asupra lumii, percepție obținută prin procesarea senzorială și prin modul în care gândim și raționăm. Percepția noastră – deci și observațiile pe care se întemeiază teoriile noastre – nu este directă, ci e ajustată de un fel de lentile, structura interpretativă a creierului uman.

Realismul dependent de model corespunde modului în care percepem obiectele. Atunci când vedem, creierul nostru primește o serie de semnale prin nervul optic. Aceste

semnale nu constituie genul de imagine pe care ați accepta-o la televizor. Există o pată oarbă în locul unde nervul optic ajunge la retină, iar singura parte a câmpului vizual în care rezoluția e bună este o zonă îngustă reprezentând aproximativ un grad de unghi vizual pornind din centrul retinei, adică o suprafață corespunzând dimensiunii degetului mare atunci când ținem brațul întins. Astfel, datele brute trimise la creier sunt ca o fotografie cu puțini pixeli și având o gaură în ea. Din fericire, creierul uman procesează datele primite, combinând input-ul provenit de la ambii ochi, completând golurile pornind de la presupunerea că proprietățile vizuale ale zonelor învecinate sunt asemănătoare, și apoi interpolând. Mai mult, el citește o matrice bidimensională de date sosite de la retină și creează de aici senzația de spațiu tridimensional. Cu alte cuvinte, creierul construiește o imagine mentală sau un model.

Creierul construiește atât de bine modele, încât, dacă unui om i se dă să poarte ochelari care răstoarnă imaginile cu susul în jos, după un timp creierul schimbă modelul, așa încât omul va vedea lucrurile din nou în poziția normală. Dacă i se scot acei ochelari, omul va vedea pentru scurt timp lumea răsturnată, după care se va adapta din nou. Aceasta arată că, atunci când spui „văd un scaun“, asta înseamnă că ai folosit lumina împrăștiată de scaun pentru a construi o imagine mentală sau un model al scaunului. Dacă modelul e răsturnat, cu puțin noroc creierul va face corecția înainte să încerci să te așezi pe scaun.

Altă problemă pe care o rezolvă realismul dependent de model, sau cel puțin o evită, este cea a semnificației existenței. De unde știu că o masă încă există, dacă eu am ieșit din cameră și n-o văd? Ce înseamnă să spui că există lucru-

rile pe care nu le putem vedea, precum electronii sau cuarcii – particulele din care se spune că sunt alcătuiți protonii și neutronii? Am putea avea un model în care masa să dispară când ies din cameră și să reapară în aceeași poziție atunci când mă întorc, dar ar fi greu de conceput. S-ar putea întâmpla ceva după ce ies din cameră, de pildă să cadă tavanul. Dar atunci, acceptând modelul „masa dispare când ies din cameră”, cum aş putea explica faptul că atunci când intru din nou găsesc masa spartă sub molozul tavanului? Modelul în care masa stă la locul ei este mai simplu și e în acord cu observațiile noastre. Asta e tot ce putem cere.

În cazul particulelor subatomice pe care nu le putem vedea, electronii sunt un model util care explică observații precum urmele într-o cameră cu ceață și petele de lumină de pe tubul catodic al televizorului, dar și multe alte fenomene. Se știe că electronul a fost descoperit în 1897 de fizicianul britanic J.J. Thomson la Laboratorul Cavendish de la Universitatea Cambridge. El făcea experiențe legate de curenții electrici din interiorul unor tuburi de sticlă goale, ceea ce numim azi raze catodice. Experimentele l-au condus la concluzia îndrăzneată că acele raze misterioase sunt alcătuite din „corpusculi” foarte mici, constituenții materiali ai atomilor – atomii fiind pe atunci considerați elementele fundamentale și indivizibile ale materiei. Thomson nu a „văzut” vreun electron, iar experimentele făcute de el n-au demonstrat direct și fără echivoc ipoteza sa. Dar modelul s-a dovedit esențial atât în știința fundamentală, cât și în inginerie, iar astăzi toți fizicienii cred în existența electronilor, deși nu-i putem vedea.

Cuarcii, pe care de asemenea nu-i putem vedea, sunt un model care explică proprietățile protonilor și neutronilor din nucleul unui atom. Deși se consideră că protonii

și neutronii sunt alcătuiți din cuarci, nu vom putea observa niciodată un cuarc, fiindcă forța de legătură dintre cuarci crește enorm pe măsură ce încercăm să-i separăm, deci nu pot exista cuarci liberi în natură. Ei apar întotdeauna în grupuri de trei (în protoni și neutroni) sau în perechi cuarc-anti-cuarc (în mezonii  $\pi$ ), și se comportă ca și cum ar fi legați cu elastic.

Din moment ce nu putem niciodată izola un cuarc, întrebarea dacă are sens să spunem că există într-adevăr cuarcii a fost aprig dezbătută în anii de după apariția acestui model. Ideea că unele particule sunt alcătuite din diverse combinații a câteva particule subnucleare implică un principiu de organizare ce a condus la o explicație simplă și atrăgătoare a proprietăților lor. Însă, deși fizicienii erau obișnuiți să accepte particule a căror existență era dedusă din scurte semnale statistice în datele de împrăștiere ale altor particule, ideea de a atribui realitate unei particule care ar putea fi în principiu neobservabilă a fost prea de tot pentru mulți fizicieni. Totuși, în timp, pe măsură ce modelul cuarcilor conducea la predicții tot mai precis confirmate, opoziția a slăbit. E fără îndoială posibil ca niște extraterestri cu șaptesprezece brațe, ochi în infraroșu și având obiceiul de a sufla smântână prin urechi să efectueze aceleași experimente ca noi, dar să le explice fără ajutorul cuarcilor. Cu toate acestea, conform realismului dependent de model, cuarcii există într-un model care este în acord cu observațiile noastre privind comportamentul particulelor subatomice.

Realismul dependent de model poate oferi un cadru de discuție pentru întrebări de genul: dacă lumea a fost creată cu un timp finit în urmă, ce s-a întâmplat înainte de acel moment? Unul dintre primii filozofi creștini, Sfântul Augustin (354–430), a spus că răspunsul nu este acela că

Dumnezeu a pregătit iadul pentru cei ce pun asemenea întrebări, ci că timpul este o proprietate a lumii pe care a creat-o Dumnezeu, iar timpul n-a existat înainte de creație, care, credea el, nu avusese loc într-un trecut prea îndepărtat. Acesta e un model posibil, pe placul acelor care susțin că cele scrise în Cartea Facerii sunt ad litteram adevărate, chiar dacă lumea conține fosile și alte dovezi care o fac să pară mult mai veche. (Au fost oare puse acolo anume ca să ne inducă în eroare?) Putem avea și un alt model, în care timpul se prelungește în urmă cu 13,7 miliarde de ani, până la big bang. Modelul care explică cele mai multe dintre observațiile noastre, inclusiv dovezile istorice și geologice, este cea mai bună reprezentare a trecutului pe care o avem. Al doilea model poate explica mărturiile fosile și radioactive, precum și faptul că primim lumină de la galaxii aflate la milioane de ani-lumină de noi, iar astfel acest model – teoria big bang – este mai util decât primul. Și totuși, nici un model nu poate fi considerat mai real decât celălalt.

Unii susțin un model în care timpul se prelungește în urmă dincolo de big bang. Nu e încă limpede dacă un asemenea model ar putea explica mai bine observațiile actuale, deoarece s-ar părea că legile de evoluție ale universului nu pot fi aplicate la momentul big bang. Dacă așa stau lucrurile, n-ar avea nici un sens să creăm un model în care timpul să ajungă înainte de big bang, fiindcă ceea ce ar fi existat înainte nu ar avea consecințe observabile în prezent, iar astfel putem rămâne la ideea că big bang-ul a fost creația lumii.

Un bun model trebuie să satisfacă următoarele condiții:

1 Este elegant.

2 Conține puține elemente arbitrare sau ajustabile.

- 3 Este în acord cu toate observațiile existente și le explică.
- 4 Face predicții amănunțite privind observațiile viitoare care pot infirma sau falsifica modelul, dacă nu se confirmă.

De exemplu, teoria lui Aristotel care spunea că lumea e alcătuită din patru elemente, pământ, aer, foc și apă, și că obiectele acționează pentru a-și împlini scopul era elegantă și nu conținea elemente ajustabile. Dar în cele mai multe cazuri nu putea face predicții precise, iar, atunci când le făcea, predicțiile nu erau în acord cu observațiile. Una dintre predicții era aceea că obiectele mai grele trebuie să cadă mai repede, fiindcă scopul lor este să cadă. Nimeni nu a considerat necesar să testeze acest lucru până la Galilei. Se povestește că el a făcut testul lăsând să cadă obiecte grele din turnul înclinat din Pisa. Probabil că e o legendă apocrifă, dar știm că a pus să se rostogolească obiecte pe un plan înclinat și a observat că viteza lor crește în același ritm, contrar predicțiilor lui Aristotel.

Criteriile de mai sus sunt evident subiective. Eleganța, de exemplu, este ceva ce nu poate fi măsurat, dar e prețuită de oamenii de știință deoarece legile naturii sunt menite să comprime mai multe cazuri particulare într-o singură formulă. Eleganța se referă la forma teoriei, dar e strâns legată de absența elementelor ajustabile, deoarece o teorie înțesată cu factori arbitrari nu e elegantă. Pentru a-l parafraza pe Einstein, o teorie trebuie să fie cât se poate de simplă, dar nu mai simplă de-atât. Ptolemeu a adăugat epicicluri la orbitele circulare ale corpurilor cerești pentru ca modelul său să descrie exact mișcarea lor. Modelul putea fi îmbunătățit adăugând epicicluri la epicicluri, ba



chiar și la acestea alte epicicluri. Deși sporirea complexității poate face modelul mai precis, oamenii de știință consideră nesatisfăcător un model care e contorsionat pentru a se potrivi cu un anumit set de observații, ceea ce seamănă mai mult cu un catalog de date decât cu o teorie care să întruchipeze un principiu util.

Vom vedea în capitolul 5 că mulți consideră nu prea elegant „modelul standard” care descrie interacțiunile particulelor elementare. Modelul acesta are un succes mult mai mare decât epiciclurile lui Ptolemeu. El a prezis existența unor noi particule înainte ca ele să fie observate experimental și a prezentat cu mare precizie rezultatul a numeroase experimente efectuate timp de decenii. El conține însă o serie de parametri ajustabili ale căror valori trebuie fixate pentru a se potrivi cu observațiile, și nu sunt determinate de teorie.

Cât privește al patrulea punct, oamenii de știință sunt întotdeauna impresionați atunci când predicții noi și neașteptate se dovedesc a fi corecte. Pe de altă parte, dacă un model dă greș, reacția obișnuită e să spui că este ceva în neregulă cu experimentul. Dacă se dovedește că lucrurile nu stau așa, de multe ori oamenii nu abandonează modelul, ci încearcă să-l salveze prin modificări. Deși fizicienii încearcă cu tenacitate să salveze teoriile pe care le admiră, tendința de a modifica o teorie scade pe măsură ce ajustările devin artificiale sau greoaie, și prin urmare „neelegante”.

Dacă modificările necesare pentru adaptarea la noile observații devin prea baroce, acesta e semnul că e nevoie de un nou model. Un exemplu de model vechi care a cedat în fața noilor observații a fost cel al universului static. În anii '20, majoritatea fizicienilor considerau universul static sau de dimensiune neschimbătoare. Apoi, în 1929,

Edwin Hubble și-a publicat observațiile care arătau că universul se extinde. El a observat lumina emisă de galaxii. Acea lumină are o amprentă caracteristică (spectru), determinată de compoziția fiecărei galaxii, care se decalează cu o cantitate cunoscută atunci când galaxia se deplasează în raport cu noi. Prin urmare, analizând spectrul galaxiilor îndepărtate, Hubble a putut determina vitezele lor. El se așteptase ca numărul galaxiilor care se îndepărtează de noi să fie aproximativ egal cu cel al galaxiilor care se apropie, dar a descoperit că aproape toate galaxiile se îndepărtează de noi, iar, cu cât erau mai departe, cu atât se deplasau mai repede. Hubble a tras concluzia că universul se extinde, însă alții, încercând să mențină modelul vechi, au încercat să explice observațiile sale în cadrul universului static. De pildă, Fritz Zwicky, fizician la Caltech, a emis ipoteza că, din motive necunoscute, lumina ar putea pierde încet energie pe măsură ce străbate distanțe atât de mari. Această scădere a energiei s-ar traduce printr-o schimbare a spectrului, despre care Zwicky a sugerat că ar simula observațiile lui Hubble. La zeci de ani după Hubble, mulți oameni de știință continuau să creadă în teoria universului staționar. Dar modelul universului în expansiune, susținut de Hubble, era mai firesc, așa încât a ajuns în cele din urmă să fie acceptat.

În căutarea legilor care guvernează universul au fost formulate o serie de teorii sau modele cum sunt teoria celor patru elemente, modelul lui Ptolemeu, teoria flogisticului\*, teoria big bang etc. Cu fiecare teorie sau model, concepția noastră despre realitate și despre constituenții fundamentali

---

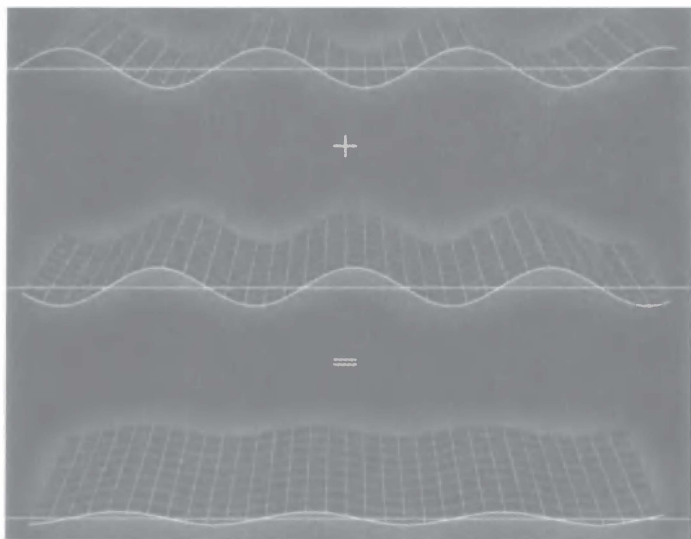
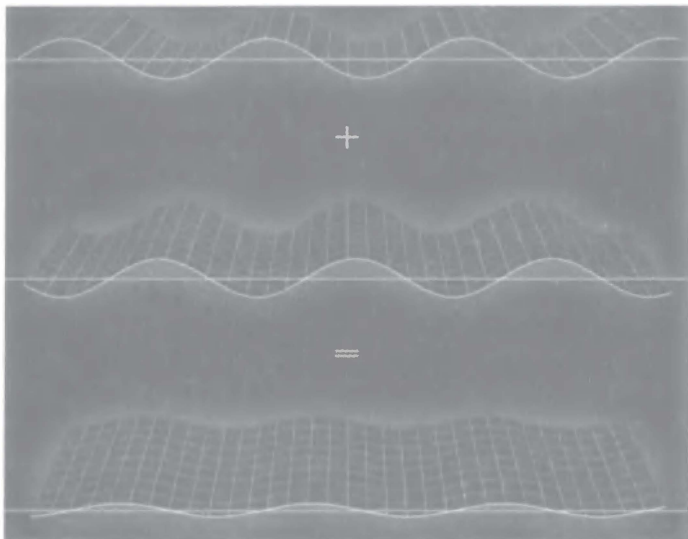
\* Flogisticul e o presupusă substanță despre care, în secolul XVIII, se credea că explică procesul combustiei. Experiențele lui Lavoisier au arătat că flogisticul nu există. (N. t.)

ai universului s-a schimbat. Să considerăm, de exemplu, teoria luminii. Newton credea că lumina e alcătuită din mici particule sau corpusculi. Aceasta explica de ce lumina se deplasează în linie dreaptă și de ce e deviată sau refractată atunci când trece dintr-un mediu în altul, de pildă, din aer în sticlă sau din aer în apă.

Teoria corpusculilor nu putea totuși explica un fenomen observat de însuși Newton, cunoscut sub numele de inelele lui Newton. Așezați o lentilă pe o placă reflectantă plată și trimiteți asupra ei lumină monocoloră, cum e cea emisă de sodiu. Privind de sus, veți vedea o serie de inele luminoase și întunecate centrate pe locul unde lentila atinge placa. Acestea ar fi greu de explicat în cadrul teoriei corpusculare a luminii, dar pot fi înțelese în teoria ondulatorie.

Conform teoriei ondulatorii a luminii, inelele luminoase și întunecate sunt provocate de un fenomen numit interferență. O undă, așa cum sunt valurile pe suprafața unei ape, constă dintr-o serie de creste și văi. Atunci când undele se ciocnesc, dacă se întâmplă ca văile și, respectiv, crestele să coincidă, ele se întăresc reciproc și rezultă o undă mai mare. Aceasta se numește interferență constructivă. În acest caz, se spune că undele sunt „în fază”. La extrema cealaltă, când undele se întâlnesc, crestele uneia pot coincide cu văile celeilalte. În acest caz, undele se anulează reciproc și se spune ca sunt „defazate”. Această situație poartă numele de interferență distructivă.

La inelele lui Newton, inelele luminoase sunt localizate la acele distanțe față de centrul de separare dintre lentilă și placa reflectantă pentru care unda reflectată de lentilă diferă de unda reflectată de placă printr-un număr întreg (1, 2, 3...) de lungimi de undă, ceea ce produce

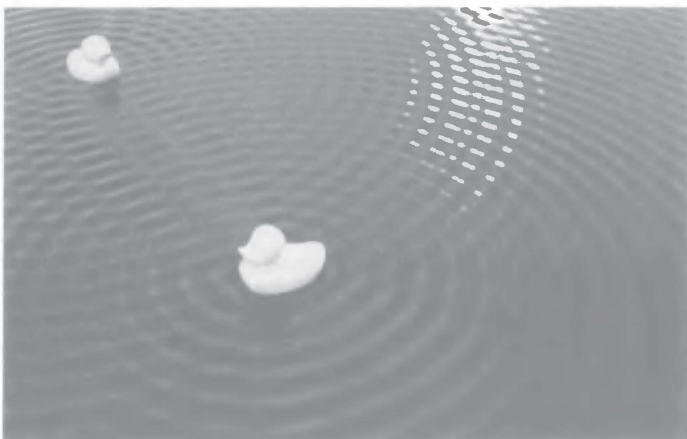


**INTERFERENȚA** La fel ca oamenii, atunci când undele se întâlnesc, ele au tendința fie să se înalțe, fie să se coboare reciproc.

interferența constructivă. (Lungimea de undă este distanța dintre două creste sau două văi succesive.) Pe de altă parte, inelele întunecate sunt localizate la acele distanțe față de centru pentru care distanța dintre cele două unde reflectate este un număr semi-întreg ( $\frac{1}{2}$ ,  $1\frac{1}{2}$ ,  $2\frac{1}{2}$ ...) de lungimi de undă, ceea ce produce interferența distructivă – unda reflectată de lentilă anulează unda reflectată de placă.

În secolul XIX, aceasta era considerată o confirmare a teoriei ondulatorii a luminii și o invalidare a teoriei corpusculare. Totuși, la începutul secolului XX, Einstein a arătat că efectul fotoelectric (folosit acum în televiziune și la aparatele de fotografiat digitale) poate fi explicat prin particule sau cuante de lumină care ciocnesc un atom și scot afară un electron. Prin urmare, lumina se comportă atât ca particulă, cât și ca undă.

Noțiunea de undă și-a făcut loc în gândire pentru că oamenii au privit oceanul sau un bazin după ce o pietricică



**INTERFERENȚA ÎNTR-UN BAZIN** Interferența apare în viața de zi cu zi pe întinderile de apă, de la bazine la oceane.

a căzut în ele. De fapt, dacă ați aruncat vreodată două pietricele într-un bazin, ați văzut probabil fenomenul interferenței. Se poate observa că și alte lichide au un comportament asemănător, poate cu excepția vinului, în cazul în care ați băut prea mult. Ideea de particulă ne e sugerată de pietre, pietriș și nisip. Dar această dualitate undă/particulă – ideea că un obiect poate fi descris atât ca particulă, cât și ca undă – scapă experienței de zi cu zi, e la fel ca ideea că ai putea bea un bolovan de gresie.

Dualități ca aceasta – situații în care două teorii foarte diferite descriu corect același fenomen – sunt în conformitate cu realismul dependent de model. Fiecare teorie poate descrie și explica anumite proprietăți, iar despre nici una nu se poate spune că ar fi mai bună sau mai reală decât cealaltă. În privința legilor care guvernează universul, ceea ce putem spune este: se pare că nu există un singur model matematic sau o singură teorie care să descrie toate aspectele universului. Așa cum am menționat în capitolul introductiv, se pare că există în schimb o rețea de teorii numită teoria M. Fiecare teorie din rețeaua teoriei M este bună pentru descrierea unor fenomene dintr-un anumit domeniu. Nici o teorie din rețea nu poate descrie toate aspectele universului – toate forțele din natură, particulele care resimt aceste forțe și cadrul spațio-temporal în care au loc toate acestea. Deși această stare de lucruri nu corespunde visului tradițional al fizicienilor de a avea o singură teorie unificatoare, ea e acceptabilă în cadrul realismului dependent de model.

Vom vorbi despre dualitate și teoria M în capitolul 5, dar mai întâi ne vom întoarce la un principiu fundamental pe care se întemeiază perspectiva noastră modernă asupra naturii: teoria cuantică, și în particular acea abordare

a teoriei cuantice numită „istorii alternative“. Conform ei, universul nu are doar o singură existență sau istorie, ci toate versiunile posibile ale universului există simultan în ceea ce se numește superpoziție cuantică. Poate că sună la fel de scandalos ca teoria în care masa dispare atunci când părăsesc camera, dar, în acest caz, teoria a trecut toate testele experimentale la care a fost supusă.

## Istории alternative

În 1999, o echipă de fizicieni austrieci a focalizat un fascicul de molecule în formă de minge de fotbal către un paravan. Aceste molecule, fiecare alcătuită din șaiszeci de atomi de carbon, sunt numite fullerene, fiindcă arhitectul Buckminster Fuller a proiectat construcții de această formă. Cupolele geodezice ale lui Fuller sunt pesemne cele mai mari obiecte în formă de minge de fotbal existente. Fullerenele sunt cele mai mici. Paravanul pe care l-au bombardat oamenii de știință avea două deschizături prin care fullerenele puteau trece. În spatele paravanului fizicienii au așezat echivalentul unui ecran pentru a detecta și număra moleculele emergente.

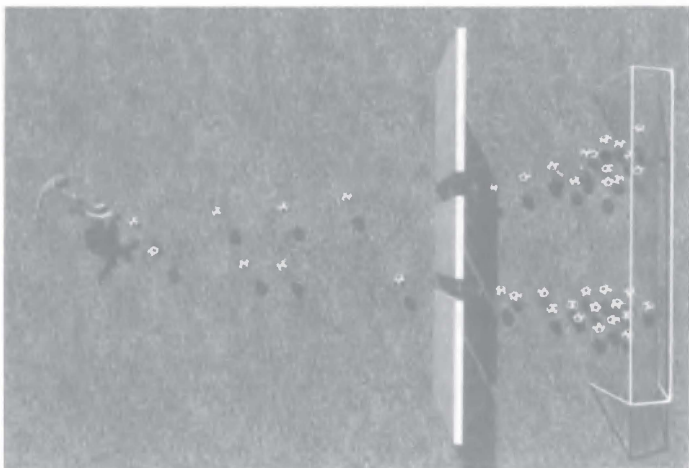
Dacă am face un experiment analog cu mingi de fotbal adevărate, ne-ar trebui un jucător nu foarte precis, dar care lansează mereu mingile cu o viteză la alegerea noastră. Am așeza jucătorul în fața zidului în care există două deschizături. De partea cealaltă a zidului, paralel cu el, am așeza o plasă foarte lungă. Cele mai multe mingi vor izbi zidul și vor ricoșa înapoi, dar unele vor trece printr-o deschizătură sau prin cealaltă. Dacă deschizăturile din zid sunt doar cu puțin mai largi decât mingile, vom observa două fluxuri bine colimate care vor trece de partea cealaltă. Dacă lărgimea deschizăturilor ar fi ceva mai mare, fiecare



flux s-ar desface într-un mic evantai, așa cum se vede în desenul de mai jos.

Observați că, dacă închidem una din fante, fluxul corespunzător de mingi nu va mai trece pe acolo, dar asta nu va avea nici un efect asupra celui alt flux. Dacă redeschidem a doua fantă, aceasta nu va face decât să sporească numărul mingilor care trec de partea cealaltă, fiindcă, la numărul mingilor care trec prin prima fantă, rămasă deschisă și înainte, se vor adăuga mingile care trec prin fanta redeschisă acum. Ceea ce observăm când ambele fante sunt deschise este suma a ceea ce observăm când fiecare fantă e deschisă separat. Acesta e realitatea cu care ne-am obișnuit în viața de zi cu zi. Dar nu același lucru au găsit fizicienii austrieci când au efectuat bombardamentul molecular.

În experimentul austriac, deschiderea celei de-a doua fante sporește într-adevăr numărul de molecule ce ajung

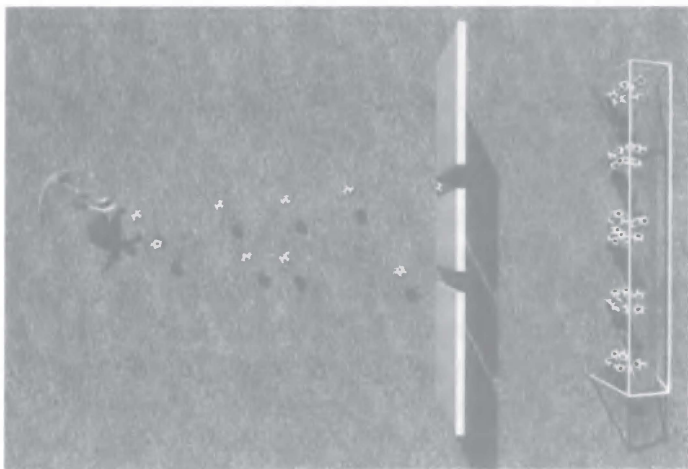


FOTBAL CU DOUĂ FANTE Un fotbalist șutează către deschizăturile din zid și generează modelul așteptat.

de partea cealaltă în anumite puncte de pe ecran, dar scade numărul lor în alte puncte, așa cum se vede în figura de mai jos.

De fapt, vor fi locuri în care nu va ateriza nici o fulerenă atunci când ambele fante sunt deschise, dar vor ajunge acolo fullerene atunci când doar una din fante e deschisă. Pare foarte ciudat. Cum se poate ca, prin deschiderea unei a doua fante, mai puține molecule să ajungă în anumite puncte?

Putem găsi un indiciu privind răspunsul dacă examinăm detaliile. În experiment, multe mingi moleculare ajung într-un loc situat la jumătatea distanței dintre locul unde v-ați aștepta să ajungă dacă trec fie printr-una, fie prin cealaltă fantă. Ceva mai departe de poziția centrală ajung foarte puține molecule, dar încă puțin mai departe vom observa din nou molecule. Acest model nu e suma



**FOTBAL CU FULERENE** Când mingile de fotbal molecular sunt lansate către fante, modelul rezultat reflectă neobișnuitele legi cuantice.

modelelor formate atunci când fiecare fantă e deschisă separat, dar îl poți recunoaște din capitolul 3, acolo unde apare figura caracteristică a interferenței undelor. Zonele unde nu ajung molecule corespund regiunilor în care undele emise de fante ajung defazate și creează o interferență distructivă; zonele unde ajung multe molecule corespund regiunilor în care undele ajung în fază și creează o interferență constructivă.

În primele două milenii de gândire științifică, experiența comună și intuiția au stat la baza explicațiilor teoretice. Pe măsură ce ne-am perfecționat tehnologia, iar spectrul fenomenelor observate s-a extins, am început să descoperim că natura se comportă într-un mod tot mai puțin compatibil cu experiența cotidiană, deci cu intuiția noastră, după cum o dovedește experimentul cu fulerene. Acest experiment e tipic pentru genul de fenomene ce nu pot fi cuprinse de știința clasică, dar sunt descrise de ceea ce se numește fizică cuantică. Richard Feynman spunea că experimentul cu două fante așa cum l-am prezentat mai sus „conține întreg misterul mecanicii cuantice”.

Principiile fizicii cuantice au fost elaborate în primele decenii ale secolului XX, după ce teoria newtoniană s-a dovedit nepotrivită pentru descrierea naturii la nivel atomic sau subatomic. Teoriile fundamentale ale fizicii descriu forțele din natură și felul în care obiectele reacționează la ele. Teoriile clasice precum cea a lui Newton sunt construite într-un cadru ce reflectă experiența cotidiană, în care obiectele materiale au o existență individuală, pot fi localizate, urmează traiectorii precise etc. Fizica cuantică oferă un cadru pentru înțelegerea felului în care acționează natura la scară atomică sau subatomică, dar, după cum vom vedea mai târziu, ea impune o schemă conceptuală

total diferită, în care poziția, traiectoria, ba chiar și trecutul și viitorul unui obiect nu sunt precis determinate. Teoriile cuantice ale forțelor precum gravitația sau forța electromagnetică sunt construite în acest cadru.

Pot oare teoriile construite într-un cadru atât de diferit de experiența cotidiană să explice și evenimentele experienței comune, care au fost atât de precis reprezentate de fizica clasică? Da, pot, fiindcă noi și tot ce ne înconjoară suntem structuri complexe, alcătuite dintr-un număr colosal de atomi, mai mulți atomi decât stelele din universul observabil. Și, cu toate că atomii componenți ascultă de principiile fizicii cuantice, se poate demonstra că agregate mari care alcătuiesc mingi de fotbal, napi, avioane – și pe noi înșine – vor reuși într-adevăr să nu fie difractate prin fante. Astfel, deși componentele obiectelor obișnuite ascultă de fizica cuantică, legile lui Newton constituie o teorie eficientă care descrie foarte precis comportamentul structurilor complexe ce definesc comportamentul lumii cotidiene.

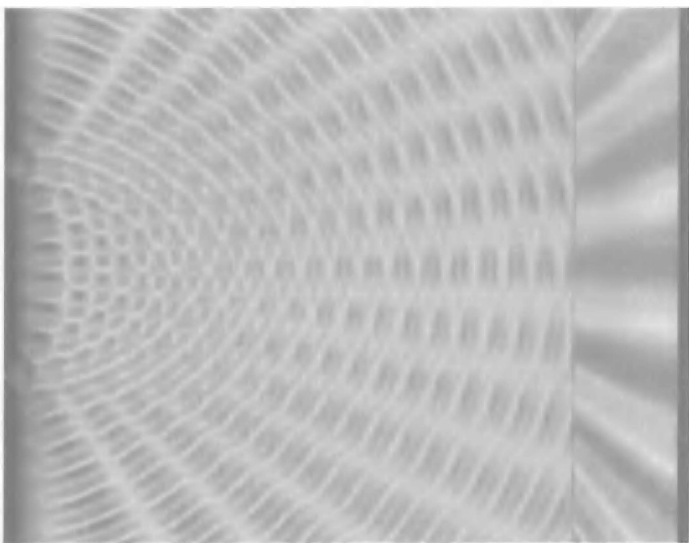
Poate părea ciudat, dar există în știință multe situații în care un agregat mare se comportă altfel decât componentele lui individuale. Reacțiile unui singur neuron nu prevestesc deloc reacțiile creierului uman, după cum nici cunoștințele despre molecula de apă nu spun prea multe despre ce se întâmplă cu un lac. În cazul fizicii cuantice, oamenii de știință încă se mai străduiesc să înțeleagă detaliile felului în care apar legile lui Newton din domeniul cuantic. Ceea ce știm este că elementele componente ale tuturor obiectelor ascultă de legile fizicii cuantice, iar legile lui Newton sunt o bună aproximație pentru a descrie comportamentul obiectelor macroscopice alcătuite din aceste componente cuantice.

Predicțiile teoriei newtoniene se conformează deci perspectivei asupra realității pe care ne-o dă experiența lumii înconjurătoare. Atomii și moleculele individuale acționează însă într-un mod profund diferit de cel care rezultă din experiența noastră cotidiană. Fizica cuantică este un model nou al realității care ne oferă o imagine a universului. Este o imagine în care multe dintre conceptele fundamentale ale înțelegerii noastre intuitive privind realitatea nu mai au nici un sens.

Experimentul cu două fante a fost efectuat pentru prima dată în 1927 de Clinton Davisson și Lester Germer, fizicieni experimentatori la Laboratoarele Bell, unde studiau interacția unui fascicul de electroni – obiecte mult mai simple decât fullerenele – cu un cristal de nichel. Faptul că particule de materie precum electronii se comportă ca undele de pe suprafața apei a fost genul de dovadă uimitoare care a stimulat fizica cuantică. Dat fiind că acest comportament nu se observă la scară macroscopică, oamenii de știință s-au întrebat cât de mare și de complex poate fi un obiect care își păstrează totuși proprietățile ondulatorii. S-ar crea desigur mare vâlvă dacă acest efect ar putea fi demonstrat pe oameni sau hipopotami, dar, așa cum am mai spus, în general, cu cât un obiect e mai mare, cu atât efectele cuantice sunt mai puțin vizibile. Este deci puțin probabil ca un animal de la grădina zoologică să treacă în chip de undă prin grățiile cuștii. Totuși, fizicienii experimentatori au observat fenomene ondulatorii la particule de dimensiuni din ce în ce mai mari. Oamenii de știință speră să refacă într-o bună zi experimentul cu fullerene folosind un virus, care nu numai că e mult mai mare, dar e considerat o ființă vie.

Pentru a înțelege argumentele din capitolele următoare trebuie precizate câteva aspecte ale fizicii cuantice. Una

dintre trăsăturile-cheie este dualitatea undă/particulă. Faptul că o particulă materială se comportă ca o undă a surprins pe toată lumea. Faptul că lumina se comportă ca o undă nu mai surprinde de mult pe nimeni. Comportamentul ondulatoriu al luminii ni se pare firesc și este acceptat de aproape două secole. Dacă proiectezi un fascicul luminos pe un perete cu două fante, ca în experimentul anterior, vor rezulta două unde care se vor întâlni pe ecran. În unele puncte, crestele sau văile lor vor coincide și vor forma o pată luminoasă; în alte puncte, crestele unui fascicul se vor întâlni cu văile celuiilalt, anulându-se reciproc și lăsând o zonă întunecată. Fizicianul englez Thomas Young a efectuat acest experiment la începutul secolului XIX, convingând lumea că lumina e o undă, și



**EXPERIMENTUL LUI YOUNG** Figura obținută în cazul fulerelor era cunoscută din teoria ondulatorie a luminii.

nu se compune din particule, așa cum credea Newton. Deși am putea crede că Newton a greșit considerând că lumina nu este o undă, el a avut dreptate când a spus că ea se comportă ca și cum ar fi alcătuită din particule. Astăzi numim aceste particule fotoni. Așa cum noi suntem constituiți dintr-un număr foarte mare de atomi, lumina pe care o vedem în viața de zi cu zi e compusă dintr-un număr foarte mare de fotoni – chiar și un beculeț de 1 watt emite un miliard de miliarde de fotoni în fiecare secundă. Fotonii individuali nu pot fi observați în mod curent, dar în laborator putem produce fascicule de lumină atât de slabă, încât constă dintr-un flux de fotoni individuali, care pot fi detectați separat, la fel cum putem detecta electronii individuali sau fullerenele individuale. Putem repeta experimentul lui Young folosind un fascicul atât de slab, încât fotonii să ajungă la fante unul câte unul, la interval de câteva secunde. Procedând astfel și adunând apoi toate impacturile individuale înregistrate pe ecran, vedem că, împreună, ele formează aceeași figură de interferență pe care am fi găsit-o dacă am fi efectuat experimentul lui Davisson și Germer cu electroni (sau cu fullerene) trimiși unul câte unul. Pentru fizicieni a fost o revelație: dacă particulele individuale interferă cu ele însele, atunci natura ondulatorie a luminii nu este doar proprietatea unui fascicul sau a unui ansamblu numeros de fotoni, ci chiar a particulelor individuale.

O altă idee importantă a fizicii cuantice este principiul de incertitudine, formulat de Werner Heisenberg în 1926. Principiul de incertitudine spune că există limite ale capacității noastre de a măsura simultan anumite date, cum sunt poziția și viteza unei particule. Conform principiului de incertitudine, de pildă, dacă înmulțim imprecizia privind poziția unei particule cu imprecizia privind impulsul





starea inițială a unui sistem, natura îi determină starea viitoare printr-un proces fundamental capricios. Cu alte cuvinte, natura nu dictează rezultatul oricărui proces sau experiment, nici măcar în cea mai simplă dintre situații, ci permite un număr de posibilități diferite, fiecare cu o anumită probabilitate de realizare. Pentru a-l parafraza pe Einstein, e ca și cum Dumnezeu ar da cu zarurile înainte de a hotărî rezultatul fiecărui proces fizic. Ideea asta l-a frământat pe Einstein atât de mult, încât, deși fusese unul dintre părinții fizicii cuantice, a devenit apoi un critic al ei.

Fizica cuantică ar putea părea că subminează ideea că natura este guvernată de legi, dar nu e cazul. Dimpotrivă, ea ne conduce la o nouă formă de determinism. Dată fiind starea unui sistem la un moment dat, legile naturii determină *probabilitățile* diferitelor viitoruri și trecuturi, în loc să determine viitorul și trecutul cu certitudine. Deși unora nu le e pe plac, oamenii de știință trebuie să accepte teorii care sunt în acord cu experimentele, iar nu cu ideile lor preconcepute.

Ceea ce pretinde știința de la o teorie e să fie testabilă. Dacă natura probabilistică a predicțiilor din fizica cuantică ar însemna ca acele predicții să fie imposibil de confirmat, atunci teoriile cuantice n-ar mai fi teorii în adevăratul sens al cuvântului. Însă, în ciuda naturii probabilistice a predicțiilor lor, noi putem totuși testa teoriile cuantice. De pildă, putem repeta de multe ori un experiment și confirma că frecvențele diferitelor rezultate corespund probabilităților prezise. Să considerăm experimentul cu fulerene. Fizica cuantică ne spune că nimic nu poate fi localizat într-un punct precis, fiindcă atunci incertitudinea privind impulsul ar fi infinită. De fapt, conform fizicii cuantice, pentru fiecare particulă există o probabilitate oarecare de a se găsi oriunde în univers. Astfel, chiar dacă

șansele de a găsi un anumit electron în aparatul cu două fante e foarte mare, vor exista mereu oarecari șanse să-l găsim undeva pe steaua Alfa Centauri sau în plăcinta cu brânză de la cantină. Prin urmare, dacă lansezi o fulerenă cuantică și o lași să zboare, oricât de inteligent ai fi și oricât de multe lucruri ai cunoaște, nu vei putea spune dinainte cu precizie unde anume va ateriza. Dar, dacă repeți experimentul de multe ori, datele obținute vor reflecta probabilitatea de a găsi fulerena în diferite locuri, iar experimenterii au confirmat că rezultatele acestor experimente concordă cu predicțiile teoriei.

Este important să înțelegem că probabilitățile din fizica cuantică nu sunt la fel ca probabilitățile din fizica newtoniană sau ca acelea din viața de zi cu zi. Putem vedea asta comparând tiparele generate de un flux constant de fulerene pe un ecran cu tiparul rezultat când tragem cu săgeți la țintă. Presupunând că jucătorii n-au consumat prea multă bere, șansele ca o săgeată să nimerească aproape de centru sunt cele mai mari, iar ele scad pentru zone mai îndepărtate de centru. În cazul fulerenelor, orice săgeată poate cădea oriunde, și cu timpul apare o figură care reflectă probabilitățile aflate în spatele fenomenului. În viața de toate zilele putem ilustra această situație spunând că o săgeată are o anumită probabilitate de a ateriza într-un anumit loc; dar, spre deosebire de cazul fulerenelor, spunem asta doar pentru că nu cunoaștem perfect condițiile de lansare a săgeților. Am putea îmbunătăți descrierea dacă am cunoaște exact felul în care fiecare jucător își lansează săgeata – unghiul sub care e lansată, viteza ei, rotația ei etc. Atunci, în principiu, am putea prezice cu o precizie oricât de mare locul unde va ateriza săgeata. Folosirea termenilor probabilistici când vorbim despre rezultatul unor evenimente din viața de zi cu zi nu reflectă

deci natura intrinsecă a procesului, ci doar ignoranța noastră în privința anumitor aspecte ale lui.

Probabilitățile din teoria cuantică sunt diferite. Ele reflectă caracterul fundamental aleator al naturii. Modelul cuantic al naturii conține principii care contrazic nu doar experiența cotidiană, dar și noțiunea noastră intuitivă de realitate. Cei care găsesc aceste principii stranii sau greu de crezut se află în bună companie, compania unor fizicieni precum Einstein sau chiar Feynman, a cărui descriere a teoriei cuantice o vom prezenta în curând. De fapt, Feynman scria odată: „Cred că pot spune cu certitudine că nimeni nu înțelege mecanica cuantică.” Dar mecanica cuantică este în acord cu observațiile. Nu a căzut la nici un test, și a fost testată mai mult decât orice altă teorie din știință.

În anii '40 Richard Feynman a avut o intuiție uimitoare legată de diferența dintre lumea newtoniană și cea cuantică. El era preocupat de problema apariției figurilor de interferență în experimentul cu două fante. Amintiți-vă că figura care apare atunci când lansăm moleculele către cele două fante deschise nu e suma figurilor pe care le obținem când efectuăm experimentul cu o fantă deschisă și cealaltă închisă, iar apoi invers. Dacă ambele fante sunt deschise, obținem o serie de benzi luminoase și întunecate, ultimele fiind în regiunile unde nu ajunge nici o particulă. Asta înseamnă că particulele care ar fi aterizat în zona întunecată dacă ar fi fost deschisă doar o fantă nu mai aterizează acolo atunci când și cealaltă fantă e deschisă. Este ca și cum undeva pe drumul de la sursă la ecran particula a obținut o informație privind cele două fante. Este un comportament cu totul diferit de ceea ce se întâmplă în viața cotidiană, unde o minge urmează o

traietorie printr-una din fante fără să fie afectată de situația celeilalte fante.

Conform fizicii newtoniene – și modului în care ar decurge experimentul dacă în locul moleculelor am folosi mingi de fotbal – fiecare particulă urmează un singur drum bine definit de la sursă la ecran. În această reprezentare nu intră în discuție vreun ocol pe care l-ar face particula pentru a vizita vecinătățile fiecărei fante. Însă, conform modelului cuantic, particula nu are o poziție bine definită în timpul deplasării din punctul de pornire în punctul de sosire. Feynman a înțeles că nu trebuie să interpretăm aceasta ca și cum particulele *n-ar* avea o traiectorie între sursă și ecran, ci că ele pot urma *toate* traiectoriile posibile care leagă cele două puncte. Aceasta, susținea Feynman, este ceea ce deosebește fizica cuantică de cea newtoniană. Situația la cele două fante contează fiindcă, în loc să aibă o singură traiectorie, particulele urmează toate traiectoriile posibile, și o fac *simultan*! Sună cam SF, dar nu este. Feynman a elaborat o expresie matematică – suma după istorii – care ilustrează această idee și reproduce toate legile fizicii cuantice. În teoria lui Feynman, matematica și imaginea fizică diferă de cele din formularea inițială a fizicii cuantice, dar predicțiile sunt aceleași.

În experimentul cu două fante, ideea lui Feynman se traduce prin faptul că particulele urmează drumuri care trec doar printr-una din fante sau doar prin cealaltă; drumuri care trec prin prima fantă se întorc prin a doua fantă și apoi trec din nou prin prima; drumuri care vizitează restaurantul unde se servesc acei minunați creveți picanți fac apoi de câteva ori înconjurul planetei Jupiter înainte de a se întoarce acasă; ba chiar și drumuri care străbat universul și se întorc. Aceasta explică, din perspectiva lui Feynman, cum află particula ce fantă e deschisă – iar, dacă

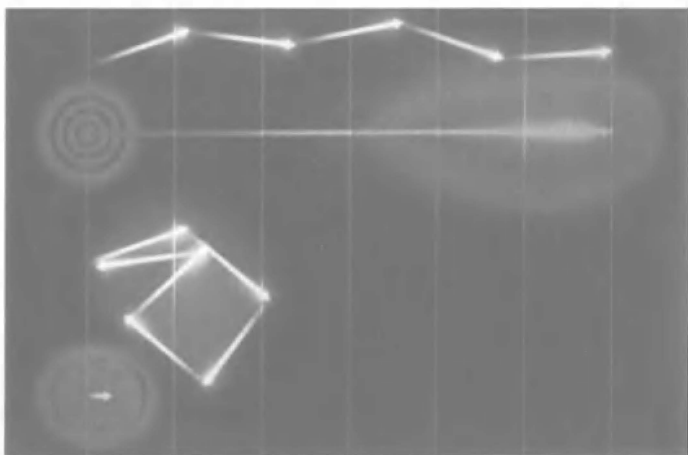
e vreuna deschisă, particula trece prin ea. Atunci când ambele fante sunt deschise, drumurile pe care călătorește particula trecând printr-o fantă pot interacționa cu drumurile care trec prin cealaltă, ceea ce produce interferența. Poate părea straniu, dar în cea mai mare parte a fizicii fundamentale de astăzi – și în cartea de față – formularea lui Feynman se dovedește mai utilă decât cea inițială.

Perspectiva lui Feynman privind realitatea cuantică e esențială pentru înțelegerea teoriilor pe care le vom prezenta în curând, așa încât merită să zăbovim puțin asupra ei. Închipuiți-vă un proces simplu în care o particulă începe să se miște liber dintr-un punct A. În modelul newtonian, particula se va deplasa în linie dreaptă. După un timp bine determinat, vom găsi particula în punctul B, bine determinat, aflat pe acea dreaptă. În modelul lui Feynman, o particulă cuantică încearcă fiecare dintre drumurile care leagă A de B, iar fiecărui drum îi corespunde un număr numit fază. Această fază reprezintă poziția în ciclu a unei unde, adică ne spune dacă unda a ajuns în creastă, în vale sau într-o anume poziție intermediară. Formalismul matematic al lui Feynman pentru calculul fazei arată că, atunci când aduni toate undele tuturor traiectoriilor, obții „amplitudinea de probabilitate” pentru ca particula pornind din A să ajungă în B. Pătratul acestei amplitudini de probabilitate dă probabilitatea corectă ca particula să ajungă în B.

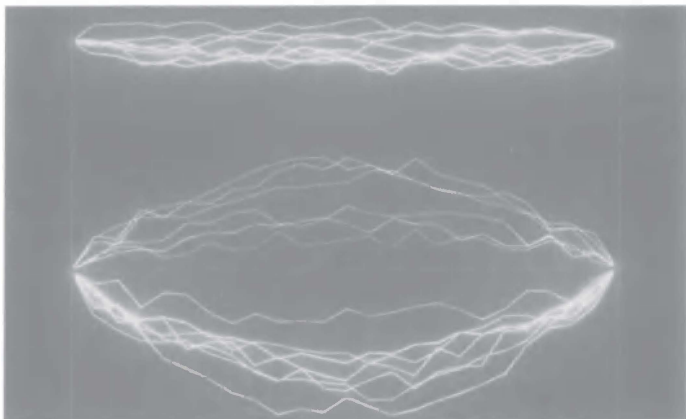
Faza fiecărei traiectorii individuale care contribuie la suma lui Feynman (și deci la probabilitatea de a ajunge de la A la B) poate fi reprezentată ca o săgeată de lungime fixă, dar orientată în orice direcție. Pentru a aduna două faze, trebuie să plasezi săgeata corespunzând uneia din faze la capătul săgeții corespunzând celeilalte faze, iar astfel obții o nouă săgeată corespunzând sumei. Pentru a aduna

și alte faze, n-ai decât să continui procesul. Observați că atunci când fazele sunt aliniate, săgeata corespunzând sumei va fi destul de lungă. Dar, dacă sunt orientate în direcții diferite, când le aduni ele tind să se anuleze reciproc, rămânând poate mai puțin decât o săgeată, după cum se vede în figura de mai jos.

Pentru a efectua, după metoda lui Feynman, calculul amplitudinii de probabilitate ca particula să ajungă din punctul A în punctul B, trebuie să adunăm fazele (sau săgețile) asociate fiecărei traiectorii ce leagă A de B. Există un număr infinit de traiectorii posibile, ceea ce complică puțin calculul, dar metoda funcționează. Mai jos sunt ilustrate două traiectorii.



**ADUNAREA TRAIECTORIILOR LUI FEYNMAN** Efectul datorat diferitelor traiectorii Feynman poate fi o sporire sau o diminuare reciprocă, la fel ca în cazul undelor. Săgețile de sus reprezintă fazele care se adună. Liniile de dedesubt reprezintă suma lor, o dreaptă care pornește de la coada primei săgeți și ajunge la vârful ultimei. În al doilea caz, săgețile sunt orientate în direcții diferite, așa încât suma lor e foarte scurtă.



**TRAIECTORIILE DE LA A LA B** Traectoria „clasică“ dintre două puncte este o linie dreaptă. Fazele trajectoriilor apropiate de traectoria clasică tind să se amplifice reciproc, în timp ce fazele trajectoriilor îndepărtate de ea tind să se anuleze.

Teoria lui Feynman ne dă o imagine foarte clară privind felul în care poate apărea reprezentarea newtoniană asupra lumii din fizica cuantică, deși cele două par atât de diferite. Conform teoriei lui Feynman, fazele asociate fiecărei traectorii depind de constanta lui Planck. Din cauza valorii atât de mici a constantei Planck, când adunăm contribuțiile trajectoriilor apropiate, fazele variază puternic și, așa cum se vede în figura de deasupra, ele tind să dea o sumă nulă. Dar teoria ne spune și că există anumite drumuri ale căror faze au tendința de a se alinia, deci acele traectorii sunt favorizate; cu alte cuvinte, ele aduc o contribuție mai mare la comportamentul observat al particulei. Se dovedește că, pentru obiectele mari, traectorii foarte asemănătoare celor prezise de Newton au faze asemănătoare și se adună pentru a da de departe cea mai mare contribuție la sumă, astfel încât singura

destinație care are o probabilitate semnificativă va fi destinația prezisă de teoria lui Newton, iar această destinație are o probabilitate foarte aproape de unu. Prin urmare, obiectele mari se vor mișca exact așa cum prezice teoria lui Newton.

Am prezentat până acum ideile lui Feynman în cadrul experimentului cu două fante. În acest experiment, particulele sunt lansate spre un perete cu două fante, iar noi măsurăm, pe un ecran aflat în spatele peretelui, locul unde ajung particulele. Mai general, în loc să fie vorba de o singură particulă, teoria lui Feynman ne permite să prezicem rezultatul probabil al unui „sistem”, care poate fi o particulă, un ansamblu de particule sau chiar întregul univers. Între starea inițială a sistemului și măsurătorile ulterioare ale proprietăților sale, acele proprietăți evoluează cumva, într-un fel pe care fizicienii îl numesc istoria sistemului. În experimentul cu două fante, de pildă, istoria particulei e pur și simplu traiectoria ei. La fel cum în experimentul cu două fante probabilitatea ca particula să ajungă într-un punct dat depinde de toate drumurile posibile până acolo, Feynman a arătat că, pentru un sistem general, probabilitatea oricărei observații se construiește din toate istoriile posibile care puteau conduce la acea observație. Din cauza acestui fapt metoda lui se numește „suma după istorii” sau formularea „istoriilor alternative” a fizicii cuantice.

Odată ce ne-am făcut o idee despre felul în care a abordat Feynman fizica cuantică, e momentul să examinăm un alt principiu-cheie pe care îl vom folosi mai târziu – principiul care spune că, observând un sistem, îi modificăm evoluția ulterioară. N-am putea oare, așa cum facem atunci când vedem că șeful are o pată de muștar pe obraz, să privim discret fără să intervenim? Nu. Conform fizicii



cuantice, nu putem „doar“ observa ceva. Cu alte cuvinte, fizica cuantică recunoaște că, pentru a face o observație, trebuie să interacționăm cu obiectul observat. De pildă, pentru a vedea un obiect în sens tradițional, îl luminăm. Dacă luminăm un dovleac, firește că efectul asupra lui va fi foarte mic. Dar dacă luminăm chiar și foarte slab o minusculă particulă cuantică – bombardând-o deci cu fotoni –, efectul poate fi considerabil, iar experimentele ne arată că rezultatele se modifică exact după cum prevede fizica cuantică.

Să presupunem, ca și până acum, că trimitem un flux de particule către un paravan în experimentul cu două fante și colectăm datele pentru primul milion de particule care trec prin paravan. Când reprezentăm grafic numărul particulelor care ajung în diferite puncte de detecție, datele vor alcătui figurile de interferență prezentate la pagina 53, iar când adunăm fazele asociate tuturor traiectoriilor posibile de la punctul de pornire al particulei, A, la punctul de detecție, B, vom găsi că toate probabilitățile calculate pentru diferitele puncte sunt în acord cu datele obținute.

Să presupunem acum că reptăm experimentul, de data asta luminând fantele, astfel încât să cunoaștem un punct intermediar C prin care trec particulele. (C este poziția uneia sau a alteia dintre fante.) Aceasta e o informație de tipul „care din drumuri“, fiindcă ne spune despre fiecare particulă dacă ajunge de la A la B prin fanta 1 sau prin fanta 2. Deoarece acum știm despre fiecare particulă prin ce fantă a trecut, în suma traiectoriilor vom include numai acele traiectorii care au trecut prin fanta 1 sau numai acelea ce au trecut prin fanta 2. Nu vom mai include atât traiectoriile care trec prin fanta 1, cât și traiectoriile care trec prin fanta 2. Din moment ce Feynman a explicat figura

de interferență spunând că drumurile printr-o fantă interferă cu drumurile prin cealaltă fantă, dacă aprindem lumina pentru a determina prin care fantă trec particulele, eliminând astfel cealaltă opțiune, vom face așa încât figura de interferență să dispară. Și, într-adevăr, când efectuăm experimentul, aprinderea luminii modifică rezultatele: în locul figurii de interferență de la pagina 53 vom obține figura de la pagina 52! Mai mult, putem efectua experimentul folosind o lumină foarte slabă, așa încât nu toate particulele să interacționeze cu lumina. În acest caz vom putea obține informația „care din drumuri” doar pentru o submulțime de particule. Dacă împărțim apoi datele privind sosirea particulelor după cum obținem sau nu informația „care din drumuri”, vom găsi că datele corespunzând submulțimii pentru care nu avem informația formează figura de interferență, iar submulțimea datelor corespunzând particulelor pentru care avem informația nu prezintă interferență.

Aceasta are consecințe importante asupra ideii noastre de „trecut”. În teoria newtoniană se presupune că trecutul există ca o serie precisă de evenimente. Dacă vezi vasul pe care l-ai cumpărat anul trecut în Italia zăcând spart pe jos și copilul tău stă aplecat asupra lui cu o privire spășită, poți reconstitui evenimentele care au condus la incident: degețelele care îl scapă, vasul căzând și făcându-se țăndări. De fapt, având date complete despre prezent, legile lui Newton ne permit să calculăm o imagine completă a trecutului. Acest fapt e în acord cu înțelegerea noastră intuitivă, fie că ne place sau nu, că lumea are un trecut bine definit. Poate că nimeni nu l-a observat, dar existența trecutului e certă, ca și când ai fi făcut o serie de instanțee ale lui. Despre o fulerenă cuantică nu se poate spune

însă că a urmat o traiectorie precisă de la sursă la ecran. Putem determina poziția unei fulerene observând-o, dar între observațiile noastre ea urmează toate traiectoriile posibile. Fizica cuantică ne spune că oricât de amănunțite ar fi observațiile noastre asupra prezentului, trecutul (neobservat), la fel ca viitorul, e nedefinit și există doar ca un spectru de posibilități. Conform fizicii cuantice, universul nu are doar un singur trecut sau o singură istorie.

Faptul că trecutul nu ia o formă precisă înseamnă că observațiile pe care le facem asupra unui sistem în prezent îi influențează trecutul. Acest fapt e pus spectaculos în evidență de un experiment conceput de fizicianul John Wheeler și numit experiment cu alegere întârziată. În linii mari, un experiment cu alegere întârziată seamănă cu experimentul cu două fante, prezentat mai sus, în care ai opțiunea de a observa traiectoria particulelor, doar că amâni hotărârea de a observa sau nu traiectoria până exact înainte de momentul în care particula lovește ecranul detector.

Rezultatele experimentului cu alegere întârziată sunt identice cu ale celui în care am ales să observăm (sau să nu observăm) care din drumuri e urmat, privind fantele. Dar, în acest caz, drumul urmat de fiecare particulă – adică trecutul ei – e determinat mult după ce a trecut prin fante și după ce se presupune că a avut de „hotărât” dacă să treacă printr-o singură fantă, ceea ce nu produce interferență, sau să treacă prin ambele, ceea ce produce interferență.

Wheeler s-a gândit chiar și la o versiune cosmică a experimentului, în care particulele implicate sunt fotoni emiși de cuasari puternici situați la miliarde de ani-lumină. O asemenea lumină poate fi împărțită în două fascicule și refocalizată spre Pământ de lentilele gravitaționale ale unei galaxii aflate în drum. Deși experimentul e în afara

posibilităților tehnologice actuale, dacă am putea colecta suficienți fotoni din această lumină, ei ar trebui să formeze o figură de interferență. Dacă am plasa un dispozitiv pentru a măsura informația „care din drumuri” înainte de detecție, figura de interferență ar trebui să dispară. În acest caz, alegerea de a urma una din traiectorii sau ambele a fost luată acum câteva miliarde de ani, înainte ca Pământul sau chiar Soarele să fi apărut, și totuși, făcând observația în laboratorul nostru, vom influența acea alegere.

În acest capitol am ilustrat fizica cuantică apelând la experimentul cu două fante. În cele ce urmează vom aplica formularea Feynman a mecanicii cuantice la univers în întregul lui. Vom vedea că, la fel ca o particulă, universul nu are doar o singură istorie, ci toate istoriile posibile, fiecare cu probabilitatea ei, și că observațiile noastre asupra stării lui actuale îi influențează trecutul și determină diferitele istorii ale universului, la fel cum observațiile asupra particulelor în experimentul cu două fante influențează trecutul particulelor. Această analiză va arăta cum decurg din big bang legile naturii în universul nostru. Dar, înainte de a vedea cum apar aceste legi, vom vorbi puțin despre ele și despre câteva dintre problemele pe care le ridică.

## Teoria a tot ce există

*Cel mai de neînțeles lucru în privința universului este că poate fi înțeles.*

Albert Einstein

Universul poate fi înțeles pentru că e guvernat de legi ale științei; cu alte cuvinte, comportamentul lui poate fi modelat. Dar ce sunt aceste legi sau modele? Gravitația a fost prima forță descrisă în limbaj matematic. Legea newtoniană a gravitației, publicată în 1687, spune că fiecare obiect din univers atrage toate celelalte obiecte din univers cu o forță proporțională cu masa lui. Ea a impresionat puternic lumea intelectuală de atunci fiindcă arăta pentru prima dată că cel puțin un aspect al universului putea fi modelat cu precizie și stabilea aparatul matematic pentru aceasta. Ideea că există legi ale naturii ducea la concluzii asemănătoare celor pentru care Galilei fusese condamnat pentru erezie cu vreo cincizeci de ani mai devreme. De exemplu, Biblia spune povestea lui Iosua, care s-a rugat ca Soarele și Luna să-și oprească cursul, așa încât să aibă parte de mai multă lumină pentru a-și încheia lupta cu amoreii din Canaan. Conform Cărții lui Iosua, Soarele s-a oprit pentru o zi. Astăzi știm că asta ar fi însemnat ca Pământul să nu se mai învârtă. Dacă Pământul s-ar opri, conform legilor lui Newton, orice obiect care n-ar fi legat de el ar rămâne în mișcare cu viteza inițială a Pământului (aproximativ 1 800 km pe oră la ecuator) – un preț prea mare de plătit pentru un apus întârziat. Newton nu și-a

facut probleme pentru nimic din toate acestea, fiindcă, așa cum am mai spus, el credea că Dumnezeu poate interveni și chiar intervine în funcționarea universului.

Următoarele aspecte ale universului pentru care a fost descoperită o lege sau un model au fost forțele electrice și magnetice. Ele se comportă precum gravitația, cu diferența importantă că două sarcini electrice sau doi magneți de același fel se resping, iar sarcinile diferite sau magneții cu poli diferiți se atrag. Forțele electrice și magnetice sunt cu mult mai puternice decât gravitația, dar în mod obișnuit nu ne dăm seama de asta, deoarece corpurile macroscopice conțin un număr aproape egal de sarcini electrice pozitive și negative. Aceasta înseamnă că forțele electrice și magnetice dintre două corpuri macroscopice se anulează reciproc, spre deosebire de forțele gravitaționale, care se adună.

Ideile noastre actuale despre electricitate și magnetism au fost elaborate într-un interval de aproape o sută de ani, de la mijlocul secolului XVIII până la mijlocul secolului XIX, când fizicienii din mai multe țări au efectuat studii experimentale amănunțite ale forțelor electrice și magnetice. Una dintre cele mai importante descoperiri a fost aceea că forțele electrice și cele magnetice sunt înrudite: o sarcină electrică în mișcare acționează cu o forță asupra unui magnet, iar un magnet în mișcare acționează cu o forță asupra unei sarcini electrice. Primul care și-a dat seama că există o legătură a fost fizicianul danez Hans Christian Ørsted. În 1820, pe când pregătea un curs pe care urma să-l țină la universitate, Ørsted a observat cum curentul electric de la o baterie pe care o folosea a deviat acul magnetic al unei busole aflate în apropiere. Și-a dat seama repede că electricitatea în mișcare creează o forță magnetică, și a inventat termenul „electromagnetism“.

Câțiva ani mai târziu, fizicianul britanic Michael Faraday s-a gândit că – exprimându-ne în termeni moderni – dacă un curent electric poate produce un câmp magnetic, atunci un câmp magnetic ar trebui să poată produce un curent electric. El a demonstrat acest efect în 1831. Paisprezece ani mai târziu, Faraday a descoperit și o legătură între electromagnetism și lumină, când a arătat că un magnetism intens poate influența natura luminii polarizate.

Faraday era mai curând autodidact. Se născuse în apropierea Londrei, în familia unui fierar sărac, și a părăsit școala la vârsta de treisprezece ani ca să lucreze ca legător de cărți și comisionar într-o librărie. De-a lungul anilor, și-a completat educația științifică citind cărțile de care trebuia să aibă grijă și făcând experiențe simple și ieftine în timpul liber. În cele din urmă a devenit asistent în laboratorul marelui chimist sir Humphry Davy. Faraday a rămas acolo 45 de ani, adică tot restul vieții sale, iar după moartea lui Davy i-a urmat acestuia la conducerea laboratorului. Faraday avea probleme cu matematica și niciodată n-a stăpânit-o, așa încât pentru el a fost un mare efort să conceapă o imagine teoretică a fenomenelor electromagnetice stranii pe care le-a observat în laboratorul său. Și totuși a reușit.

Una dintre cele mai mari contribuții ale lui Faraday a fost ideea câmpurilor de forțe. În zilele noastre, grație cărților și filmelor despre extraterestrii cu ochi de insectă și navele lor spațiale, multă lume e familiarizată cu termenul, așa încât i s-ar cuveni poate drepturi de autor. Dar, în secolele dintre Newton și Faraday, unul dintre marile mistere ale fizicii era acela că legile păreau să indice că forțele acționează prin spațiul gol ce separă obiectele aflate în interacțiune. Asta nu-i plăcea lui Faraday. El credea că, pentru a deplasa un obiect, ceva trebuie să intre în contact

cu acel obiect. Astfel, el și-a imaginat că spațiul dintre sarcini electrice și magneți este umplut cu tuburi invizibile care acționează fizic împingând și trăgând. Faraday a numit aceste tuburi câmp de forță. Un mod simplu de a vizualiza câmpul de forță este efectuarea acelei demonstrații didactice în care o placă de sticlă pe care se află pilitură de fier e așezată deasupra unui magnet. După câteva bătăi ușoare în placă pentru a învinge frecarea, pilitura se deplasează ca împinsă de o putere nevăzută și se aranjează sub formă de arce care se întind de la un pol al magnetului la celălalt. Această figură e harta unei forțe magnetice nevăzute ce străbate spațiul. Astăzi noi credem că toate forțele sunt transmise prin câmpuri, așa încât avem de-a face cu un concept important în fizica modernă – dar și în science-fiction.

Timp de câteva decenii înțelegerea electromagnetismului s-a limitat la cunoașterea câtorva legi empirice: indiciul că electricitatea și magnetismul sunt în chip misterios strâns corelate; ideea că ele sunt cumva legate de lumină; noțiunea embrionară de câmp. Existau cel puțin unsprezece teorii ale electromagnetismului, toate false. Apoi, pe la 1860, fizicianul scoțian James Clerk Maxwell a creat pentru ideile lui Faraday un cadru matematic ce explica legătura profundă și tainică dintre electricitate, magnetism și lumină. Rezultatul a fost un set de ecuații care prezintă forțele electrice și magnetice ca manifestări ale unei aceleiași entități fizice, câmpul electromagnetic. Maxwell a unificat electricitatea și magnetismul într-o singură forță. Mai mult, el a arătat că acest câmp electromagnetic se poate propaga în spațiu ca o undă. Viteza de propagare a acestei unde e guvernată de un număr ce apare în ecuațiile sale, pe care l-a calculat pornind de la



datele experimentale obținute cu câțiva ani înainte. Spre surprinderea sa, viteza calculată era exact viteza luminii, cunoscută experimental pe atunci cu o precizie de unu la sută. El a descoperit că lumina însăși este o undă electromagnetică!

Astăzi ecuațiile care descriu câmpurile electric și magnetic se numesc ecuațiile lui Maxwell. Puțină lume a auzit de ele, dar acestea sunt probabil cele mai importante ecuații din punct de vedere comercial din câte se cunosc. Nu numai că guvernează funcționarea tuturor aparatelor, de la electrocasnice la computere, însă ele descriu și alte unde decât lumina, precum microundele, undele radio, lumina infraroșie și razele X. Toate acestea se deosebesc de lumina vizibilă doar într-o singură privință – lungimea de undă. Undele radio au lungimi de undă de ordinul unui metru sau mai mult, în timp ce lumina vizibilă are lungimea de undă de ordinul zecimilor de milionimi dintr-un metru, iar razele X au lungimi de undă mai scurte decât o sutime de milionime dintr-un metru. Soarele nostru emite în toate lungimile de undă, dar radiația sa cea mai intensă este în domeniul lungimilor de undă vizibile nouă. Probabil că nu e întâmplător faptul că putem vedea cu ochiul liber exact lungimile de undă în care Soarele radiază cel mai intens: ochiul nostru a evoluat pesemne având capacitatea de a detecta radiația electromagnetică în acest domeniu de lungimi de undă tocmai pentru că asemenea lungimi de undă sunt disponibile din plin. Dacă ne vom întâlni vreodată cu ființe de pe alte planete, ele vor avea probabil capacitatea de a „vedea” o radiație având lungimile de undă pe care soarele lor le emite cel mai intens, cu o corecție depinzând de unii factori cum ar fi caracteristicile prafului și gazelor din atmosfera acelei planete, care obturează

lumina. Prin urmare, extraterestrii care au evoluat în prezența razelor X ar putea face o carieră frumoasă în securitatea aeroporturilor.

Din ecuațiile lui Maxwell rezultă că undele electromagnetice se propagă cu o viteză de aproximativ 300 000 kilometri pe secundă. Dar a prezenta valoarea unei viteze nu înseamnă nimic dacă nu precizezi un sistem de referință în raport cu care viteza e măsurată. În viața de zi cu zi, de regulă nu e nevoie să te gândești la așa ceva. Atunci când un indicator limitează viteza la 80 de kilometri pe oră, se înțelege că viteza e măsurată în raport cu drumul, iar nu cu o gaură neagră din centrul Căii-Lactee. Dar chiar și în viața de zi cu zi apar situații în care trebuie să ținem cont de sistemul de referință. De pildă, dacă duci o ceașcă de ceai pe culoarul unui avion în zbor, poți spune că ai o viteză de 3 km pe oră. Cineva aflat pe sol ar putea spune că te miști cu 920 km pe oră. Dacă vă închipuiți cumva că unul sau altul din acești observatori e mai îndreptățit să susțină că afirmația lui e adevărată, gândiți-vă că, din cauza rotației Pământului în jurul Soarelui, cineva care te-ar urmări de pe suprafața acelui corp ceresc nu ar fi de acord cu nici unul din cei doi și ar susține că te deplasezi cu aproximativ 30 km pe secundă, ca să nu mai vorbim că te-ar invidia pentru aerul condiționat. Ținând cont de asemenea neînțelegeri, atunci când Maxwell a pretins că a descoperit „viteza luminii” apărând în ecuațiile sale, întrebarea firească a fost: în raport cu ce era măsurată viteza luminii din ecuațiile lui Maxwell?

Nu avem nici un motiv să credem că parametrul vitezei din ecuațiile lui Maxwell e o viteză măsurată în raport cu Pământul. La urma urmei, ecuațiile sale se aplică întregului univers. Un răspuns luat în considerare pentru

un timp a fost acela că viteza luminii din ecuațiile lui Maxwell este raportată la un mediu încă nedetectat ce ar umple întreg spațiul, numit eter luminos sau, pe scurt, eter – termen folosit de Aristotel pentru a desemna substanța care credea el că umple întreg universul din afara sferei terestre. Ipotezicul eter ar fi fost mediul prin care se propagă undele electromagnetice, așa cum sunetul se propagă prin aer. Dacă eterul ar exista, ar însemna că există un reper absolut pentru repaus (adică repausul în raport cu eterul), și deci o modalitate absolută de a defini mișcarea. Eterul ar oferi un sistem de referință privilegiat în întreg universul, în raport cu care s-ar putea măsura viteza oricărui obiect. Prin urmare, existența eterului a fost postulată pe baze teoretice, îndemnându-i astfel pe unii oameni de știință să găsească o cale de a-l studia, sau măcar de a-i confirma existența. Unul dintre ei a fost însuși Maxwell.

Dacă te deplasezi prin aer către o undă sonoră, unda se apropie mai repede, iar, dacă te deplasezi în direcția opusă, ea se apropie mai încet. În mod asemănător, dacă ar exista eterul, viteza luminii ar depinde de mișcarea ta în raport cu eterul. De fapt, dacă lumina s-ar comporta ca sunetul, așa cum pasagerii de la bordul unui avion supersonic nu pot auzi niciodată un sunet emis din spatele avionului, la fel și călătorii care ar zbura prin eter suficient de repede ar putea ajunge din urmă o undă luminoasă. Pornind de la asemenea considerații, Maxwell a propus un experiment. Dacă ar exista eter, Pământul ar trebui să se miște prin eter atunci când se rotește în jurul Soarelui. Și, deoarece Pământul se deplasează într-o direcție diferită în ianuarie, de pildă, față de direcția în care se deplasează în aprilie sau iunie, ar trebui să putem observa o mică diferență în valoarea vitezei luminii la momente diferite din an.

Maxwell a vrut să-și publice ideea în *Proceedings of the Royal Society*, dar editorul i-a spus că nu crede că experimentul va reuși. Însă, în 1879, cu puțină vreme înainte de a muri la vârsta de 48 de ani din cauza unui dureros cancer la stomac, Maxwell i-a trimis unui prieten o scrisoare pe această temă. Scrisoarea a fost publicată postum în revista *Nature*, unde a fost citită între alții și de un fizician american pe nume Albert Michelson. Stimulați de speculația lui Maxwell, în 1887, Michelson și Edward Morley au efectuat un experiment foarte precis, destinat să măsoare viteza cu care se deplasează Pământul prin eter. Ideea lor era să compare viteza luminii în două direcții perpendiculare între ele. Dacă viteza luminii ar fi fost un număr fix în raport cu eterul, din măsurători ar fi trebuit să reiasă viteze diferite ale luminii, în funcție de direcția fasciculului. Dar Michelson și Morley n-au găsit vreo astfel de diferență.

Rezultatul experienței lui Michelson și Morley era clar în contradicție cu modelul undelor electromagnetice călătorind prin eter, și ar fi trebuit să conducă la abandonarea modelului eterului. Dar scopul lui Michelson era să măsoare viteza Pământului față de eter, nu să confirme sau să infirme ipoteza eterului, iar ceea ce a găsit nu l-a condus la concluzia că eterul nu există. Nici alții n-au tras această concluzie. De fapt, celebrul fizician sir William Thomson (lord Kelvin) a spus în 1884 că eterul e „singura substanță pe care ne bazăm în dinamică. Suntem siguri de un lucru, iar acesta e realitatea și substanțialitatea eterului luminos”.

Cum mai poți să crezi în eter după rezultatele experimentului Michelson–Morley? Așa cum am mai spus, oamenii încearcă adesea să salveze modelul inventând adaosuri ad-hoc. Unele postulau că Pământul trage eterul cu el, deci de fapt nu ne-am mișca în raport cu eterul. Fizicianul

olandez Hendrik Antoon Lorentz și fizicianul irlandez George Francis FitzGerald au sugerat că, într-un sistem care se mișcă în raport cu eterul, probabil din cauza vreunui efect mecanic încă necunoscut, ceasurile încetinesc și distanțele se contractă, astfel încât să măsurăm aceeași viteză a luminii. Asemenea eforturi de a salva noțiunea de eter au continuat aproape douăzeci de ani, până la un remarcabil articol al unui tânăr și necunoscut funcționar la biroul de brevete din Berna, Albert Einstein.

Einstein avea douăzeci și șase de ani în 1905, când a publicat articolul „Zur Elektrodynamik bewegter Körper” („Despre electrodinamica corpurilor în mișcare”). El a făcut aici presupunerea simplă că legile fizicii, și în particular viteza luminii, ar trebui să fie aceleași pentru toți observatorii aflați în mișcare uniformă. Se dovedește că această idee presupune o revoluție în ideile noastre despre spațiu și timp. Ca să înțelegem de ce, să ne imaginăm două evenimente care se petrec în același loc, dar la momente diferite, într-un avion în zbor. Pentru un observator din avion, distanța dintre cele două evenimente va fi zero. Dar, pentru un observator aflat la sol, evenimentele vor fi separate prin distanța parcursă de avion între cele două evenimente. Aceasta ne arată că doi observatori care se deplasează unul față de altul nu vor fi de acord în privința distanței dintre două evenimente.

Să presupunem acum că cei doi observatori văd un puls luminos călătorind de la coada avionului către vârf. La fel ca în exemplul de mai sus, ei nu vor cădea de acord asupra distanței parcurse de lumină de la emiterea ei în coada avionului până la recepția ei în vârf. Deoarece viteza e distanța parcursă împărțită la timpul scurs, aceasta înseamnă că, în cazul în care ei vor fi de acord în privința vitezei – viteza

luminii —, atunci nu vor fi de acord în privința intervalului de timp scurs între emisie și recepție.

Stranietatea situației stă în faptul că deși cei doi observatori măsoară timpi diferiți, ei urmăresc *același proces fizic*. Einstein n-a încercat să construiască o explicație artificială pentru asta. El a tras o concluzie logică, chiar dacă șocantă, spunând că măsurarea timpului scurs și a distanței parcurse depind de observatorul care face măsurătorile. Acest efect e unul dintre aspectele-cheie ale teoriei din articolul publicat de Einstein în 1905, teorie numită relativitatea specială.

Pentru a vedea cum se aplică această analiză la instrumentele de măsurare a timpului, să considerăm doi observatori care privesc un ceas. Relativitatea specială ne spune că ceasul merge mai repede conform observatorului aflat în repaus față de ceas. Pentru observatori care nu se află în repaus în raport cu ceasul, acesta merge mai încet. Asimilând un puls luminos ce călătorește de la coada avionului către vârful cu ticăitul ceasului, vedem că pentru observatorul de la sol ceasul merge mai încet fiindcă fasciculul de lumină are de parcurs o distanță mai mare în sistemul său de referință. Acest efect nu depinde de mecanismul ceasului; el e valabil pentru toate ceasurile, chiar și pentru ceasul nostru biologic.

Articolul lui Einstein arăta că, la fel ca noțiunea de repaus, timpul nu poate fi absolut, așa cum credea Newton. Cu alte cuvinte, nu poți atribui fiecărui eveniment un timp cu care să fie de acord toți observatorii. Toți observatorii au propria lor măsură a timpului, iar timpii măsurați de doi observatori în mișcare relativă unul față de altul nu vor fi identici. Ideile lui Einstein contrazic intuiția noastră, dar consecințele lor nu sunt observabile la viteze

cu care avem de-a face în mod obișnuit. Ele au fost confirmate experimental de nenumărate ori. De pildă, închipuiți-vă un ceas de referință aflat în repaus în centrul Pământului, alt ceas pe suprafața Pământului și un al treilea la bordul unui avion care zboară fie în direcția de rotație a Pământului, fie în direcția contrară. În raport cu ceasul din centrul Pământului, ceasul de la bordul avionului care zboară spre est – în sensul rotației Pământului – se deplasează mai repede decât ceasul de la suprafață, deci trebuie să meargă mai încet. În mod asemănător, în raport cu ceasul din centrul Pământului, ceasul de la bordul avionului care zboară spre vest – în sens contrar rotației Pământului – se deplasează mai încet decât ceasul de la suprafață, deci trebuie să meargă mai repede decât ceasul de la suprafață. Iar exact acest lucru a fost observat când, într-un experiment efectuat în octombrie 1971, un ceas atomic extrem de precis a zburat în jurul lumii. Vă puteți deci prelungi viața zburând mereu către est în jurul lumii, dar s-ar putea să vă plictisească să tot vedeți acele filme pe care vi le oferă liniile aeriene. În plus, efectul e foarte mic, cam 180 de miliardimi de secundă pe circuit (iar cifra e puțin micșorată de efectele diferenței de gravitație, dar nu e momentul să vorbim acum despre asta).

Grație lui Einstein, fizicienii au înțeles că, impunând ca viteza luminii să fie aceeași în toate sistemele de referință, din teoria electricității și magnetismului a lui Maxwell rezultă că timpul nu poate fi tratat separat de cele trei dimensiuni ale spațiului. Timpul și spațiul sunt intercorelate. Este ca și cum s-ar adăuga o a patra dimensiune viitor/trecut la cele obișnuite stânga/dreapta, înainte/înapoi și sus/jos. Fizicienii numesc acest mariaj al spațiului cu timpul „spațiu-timp“, și fiindcă spațiul-timp include

o a patra direcție, ei o numesc a patra dimensiune. În spațiu-timp, timpul nu mai e separat de cele trei dimensiuni spațiale, și, vorbind în termeni intuitivi, la fel cum definițiile pentru sus/jos, dreapta/stânga, înainte/înapoi depind de orientarea observatorului, și direcția timpului depinde de viteza observatorului. Observatorii care se deplasează cu viteze diferite vor alege direcții diferite pentru timp în spațiu-timp. Teoria relativității speciale a lui Einstein era prin urmare un model nou, care s-a debarasat de noțiunile de timp absolut și repaus absolut (adică repaus în raport cu eterul fix).

Einstein a înțeles repede că pentru ca gravitația să fie compatibilă cu relativitatea mai era nevoie de o schimbare. Conform teoriei newtoniene a gravitației, la orice timp dat obiectele sunt atrase unul către altul cu o forță ce depinde de distanța dintre ele la acel moment. Dar teoria relativității abolise noțiunea de timp absolut, așa încât nu mai exista nici un mod de a defini când trebuie măsurată distanța dintre mase. Așadar, teoria newtoniană a gravitației nu mai era compatibilă cu teoria relativității speciale și trebuia modificată. Această contradicție ar putea părea mai curând o dificultate de ordin tehnic, sau chiar un detaliu care ar putea fi cumva eludat fără a schimba mult teoria. S-a dovedit însă că nimic nu era mai departe de adevăr.

În următorii unsprezece ani Einstein a elaborat o nouă teorie a gravitației, pe care a numit-o relativitate generală. Noțiunea de gravitație în relativitatea generală nu seamănă cu cea a lui Newton. Ea se bazează pe ideea revoluționară că spațiul-timp nu e plat, așa cum se presupunea până atunci, ci curbat și distorsionat de masele și energiile aflate în el.

O bună metodă de a ne reprezenta curbura este să ne gândim la suprafața Pământului. Deși suprafața Pământului



e doar bidimensională (există doar două direcții de-a lungul ei, de pildă, nord/sud și est/vest), vom folosi acest exemplu fiindcă un spațiu curb bidimensional e mai ușor de imaginat decât un spațiu curb cvadridimensional. Geometria spațiilor curbe, cum e suprafața Pământului, nu mai este geometria euclidiană cu care suntem obișnuiți. De pildă, pe suprafața Pământului cea mai scurtă distanță dintre două puncte – care în geometria euclidiană e o dreaptă – este drumul ce unește două puncte de-a lungul unui cerc mare. (Un cerc mare este cercul de pe suprafața Pământului al cărui centru coincide cu centrul Pământului. Ecuatorul e un exemplu de cerc mare, iar la fel este orice cerc obținut rotind ecuatorul de-a lungul diferitelor diametre.)

Imaginați-vă, de pildă, că vrem să călătorim de la New York la Madrid, două orașe aflate cam la aceeași latitudine. Dacă Pământul ar fi plat, cel mai scurt drum ar fi drept spre est. Procedând astfel, veți ajunge la Madrid după 5 965 km. Dar, din cauza curburii Pământului, există un drum care pe harta plană pare curbat, deci mai lung, însă în realitate e mai scurt. Veți face numai 5 800 km dacă veți urma ruta de pe cercul mare, adică mai întâi veți merge spre nord-est, apoi spre est, iar în fine spre sud-est. Diferența de distanță dintre cele două rute se datorează curburii Pământului și e un semn al geometriei lui neeuclidiene. Companiile aviatice cunosc acest lucru și îi pun pe piloți să urmeze cercurile mari ori de câte ori e cazul.

Conform legilor de mișcare ale lui Newton, obiecte cum sunt ghiulelele, cornurile și planetele se mișcă în linii drepte dacă asupra lor nu acționează o forță precum gravitația. Dar, în teoria lui Einstein, gravitația nu e o forță la fel ca celelalte, ci e o consecință a faptului că masa distorsionează spațiul-timp, creând o curbura. În teoria lui Einstein obiectele

se mișcă pe geodezice, care sunt echivalentul liniilor drepte în spațiul curbat. Dreptele sunt geodezice în spațiul plat, iar cercurile mari sunt geodezice pe suprafața Pământului. În absența materiei, geodezicele din spațiul-timp cvadridimensional corespund dreptelor din spațiul tridimensional. Atunci când materia e prezentă, distorsionând spațiul-timp, traiectoriile corpurilor în spațiul tridimensional corespunzător sunt curbate într-un mod care, în teoria newtoniană a gravitației, era explicat prin atracția gravitațională. Atunci când spațiul-timp nu e plat, traiectoriile obiectelor apar curbate, dând impresia că asupra lor acționează o forță.

Teoria generală a relativității reproduce relativitatea specială dacă gravitația nu e prezentă, și face aproape aceleași predicții ca teoria lui Newton în mediul de gravitație scăzută al sistemului nostru solar – dar nu exact aceleași. De fapt, dacă nu s-ar ține cont de relativitatea generală în sistemele de navigație GPS prin satelit, erorile în poziționarea globală s-ar acumula într-un ritm de zece kilometri pe zi! Adevărata importanță a relativității generale nu constă însă în aplicațiile ei la dispozitive care vă conduc către noi restaurante, ci în faptul că e un model foarte diferit al universului, care prezice noi fenomene, cum sunt undele gravitaționale și găurile negre. Iar astfel, relativitatea generală a transformat fizica în geometrie. Tehnologia modernă e suficient de fină pentru a ne permite să testăm relativitatea generală, și ea a trecut toate testele.

Deși ambele au revoluționat fizica, teoria electromagnetismului a lui Maxwell și teoria gravitației a lui Einstein (relativitatea generală) sunt, la fel ca fizica lui Newton, teorii clasice. Altfel spus, ele sunt modele în care universul are o singură istorie. După cum am văzut în capitolul prece-

dent, la nivel atomic și subatomic, aceste modele intră în contradicție cu observațiile. În locul lor trebuie să folosim teorii cuantice în care universul poate avea toate istoriile posibile, fiecare dintre ele cu propria intensitate sau amplitudine de probabilitate. Pentru calcule practice implicând lumea cotidiană, putem continua să folosim teoriile clasice, dar, dacă vrem să înțelegem comportamentul atomilor și moleculelor, avem nevoie de versiunea cuantică a teoriei lui Maxwell pentru electromagnetism; iar, dacă vrem să înțelegem începutul universului, când materia și energia erau comprimate într-un volum mic, trebuie să apelăm la o versiune cuantică a relativității generale. Avem nevoie de aceste teorii și pentru că, aflându-ne în căutarea unei înțelegeri fundamentale a naturii, aceasta n-ar fi coerentă dacă unele legi ar fi cuantice, iar altele clasice. Trebuie deci să găsim versiuni cuantice ale tuturor legilor naturii. Asemenea teorii se numesc teorii cuantice de câmp.

Forțele cunoscute din natură pot fi împărțite în patru clase:

1. *Gravitația*. Este cea mai slabă dintre cele patru, dar e o forță cu rază lungă și acționează asupra oricărui lucru din univers ca o atracție. Aceasta înseamnă că, pentru corpurile mari, forțele gravitaționale se însumează și pot domina toate celelalte forțe.

2. *Electromagnetismul*. Este de asemenea o forță de rază lungă, dar mult mai puternică decât gravitația, și acționează doar asupra particulelor având sarcină electrică; sarcinile de același semn se resping, iar sarcinile de semn opus se atrag. Aceasta înseamnă că forțele electrice între corpurile mari se anulează reciproc, dar la scara atomilor și a moleculelor ele sunt dominante. Forțele electromagnetice sunt răspunzătoare pentru toată chimia și biologia.

3. *Forța nucleară slabă.* Ea explică radioactivitatea și joacă un rol esențial în formarea elementelor în stele și în universul timpuriu. Nu intrăm în contact cu această forță în viața cotidiană.

4. *Forța nucleară tare.* Această forță menține laolaltă protonii și neutronii în interiorul nucleului atomic. Ea menține de asemenea laolaltă protonii și neutronii înșiși, lucru necesar pentru că ei sunt alcătuiți din particule încă și mai mici, cuarcii menționați în capitolul 3. Forța tare e sursa de energie a Soarelui și a centralelor nucleare, dar, la fel ca în cazul forței slabe, nu intrăm direct în contact cu ea în viața cotidiană.

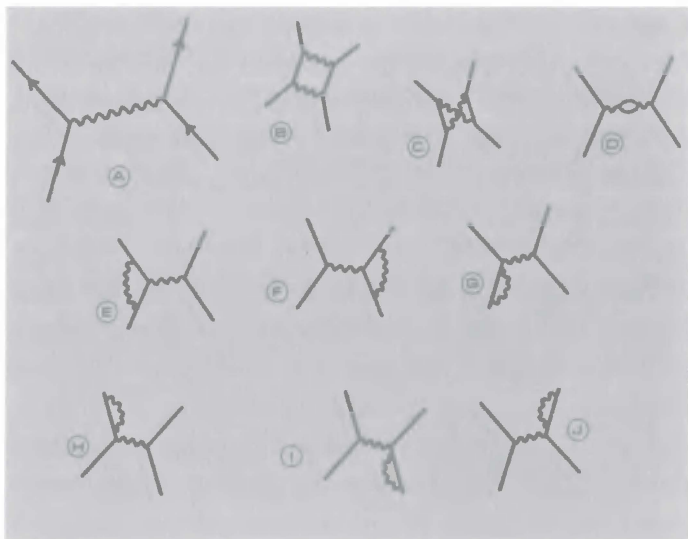
Prima forță pentru care a fost creată o versiune cuantică a fost electromagnetismul. Teoria cuantică a câmpului electromagnetic, numită electrodinamică cuantică sau QED [*quantum electrodynamics*], a fost elaborată în anii '40 de Richard Feynman și alții, și a devenit un model pentru toate teoriile cuantice de câmp. Așa cum am mai spus, conform teoriilor clasice, forțele sunt transmise prin câmpuri. Dar, în teoriile cuantice de câmp, câmpurile de forțe sunt formate din diferite particule elementare numite bosoni, particule ce transportă forțele înainte și înapoi între particule de materie, transmițând forțele. Particulele de materie se numesc fermioni. Electronii și cuarcii sunt exemple de fermioni. Fotonul sau particula de lumină este un exemplu de boson. Bosonul e cel ce transmite forța electromagnetică. Ceea ce se întâmplă este că o particulă de materie, de pildă un electron, emite un boson, sau o particulă de forță, după care are un recul, cam la fel cum un tun reculează după ce lansează un proiectil. Particula de forță se va ciocni apoi cu o altă particulă de materie

și va fi absorbită, modificând mișcarea acelei particule. Conform QED, toate interacțiunile dintre particulele încărcate – particule care simt forțele electromagnetice – sunt descrise în termenii schimbului de fotoni.

Predicțiile QED au fost testate și confirmate cu mare precizie de rezultatele experimentale. Calculele matematice cerute de QED pot fi însă dificile. Problema, așa cum vom vedea mai departe, este că atunci când adaugi la cadrul de mai sus al schimbului de particule cerința cuantică de a include toate istoriile prin care o interacțiune poate avea loc – de pildă, toate căile prin care pot fi schimbate particulele – matematica devine complicată. Din fericire, împreună cu introducerea ideii de istorii alternative – modul de gândire al mecanicii cuantice prezentat în capitolul precedent – Feynman a elaborat și o metodă grafică elegantă de a ține cont de diferitele istorii, metodă folosită azi nu numai în QED, ci în toate teoriile cuantice de câmp.

Metoda grafică a lui Feynman oferă un mod de a vizualiza fiecare termen din suma după istorii. Aceste desene, numite diagrame Feynman, sunt unele dintre cele mai importante instrumente ale fizicii moderne. În QED sumele după toate istoriile posibile pot fi reprezentate ca sume după diagrame Feynman precum cele de pe pagina următoare, care înfățișează unele dintre modurile prin care poate avea loc împrăștierea a doi electroni prin intermediul forței electromagnetice. În aceste diagrame, liniile drepte reprezintă electronii și liniile ondulate reprezintă fotonii. Timpul înaintează de jos în sus, iar locurile în care se unesc liniile corespund absorbției sau emisieii fotonilor de către un electron. Diagrama (A) prezintă doi electroni ce se apropie unul de altul schimbând un foton și apoi continuându-și drumul.

Este cel mai simplu mod prin care doi electroni interacționează electromagnetic, dar trebuie să luăm în considerare toate istoriile posibile. Prin urmare, trebuie să includem și diagrame precum (B). Această diagramă are din nou două linii care intră (electronii care se apropie) și două linii care ies (electronii împrăștiați), dar în această diagramă electronii schimbă doi fotoni înainte de a se îndepărta. Diagramele prezentate sunt doar câteva dintre numeroasele posibilități; de fapt, există un număr infinit de diagrame care trebuie luate în calcul.



**DIAGrame FEYNMAN** Aceste diagrame reprezintă un proces de împrăștiere a doi electroni.

Diagramele Feynman nu sunt numai o metodă de reprezentare și de catalogare a interacțiilor care pot apărea. Diagramele Feynman sunt însoțite de reguli ce permit

deducerea unei expresii matematice din liniile și vârfurile (punctele în care se întâlnesc mai multe linii) oricărei diagrame. De pildă, probabilitatea ca electronii incidenți cu un impuls inițial dat să plece cu un anumit impuls final se obține prin însumarea contribuțiilor tuturor diagramelor Feynman. E ceva de muncă, fiindcă, așa cum am spus, numărul de diagrame este infinit. Mai mult, deși electronilor incidenți și celor emergenți li se atribuie o energie și un impuls precise, particulele din bucele închise din interiorul diagramei pot avea orice energie și impuls. Acest fapt este important deoarece în formarea sumei Feynman trebuie să însumăm nu numai toate diagramele, dar și să ținem cont de toate valorile energiei și impulsului care intervin.

Diagramele Feynman i-au ajutat enorm pe fizicieni pentru a vizualiza și a calcula probabilitățile proceselor descrise de QED. Ele n-au înlăturat însă un neajuns important al teoriei: când se însumează contribuțiile de la un număr infinit de istorii diferite, se obține un rezultat infinit. (Dacă termenii succesivi într-o sumă infinită descresc suficient de repede, suma poate fi finită, dar, din păcate, acest lucru nu se întâmplă aici.) În particular, când se adună diagramele Feynman, pare să rezulte că electronul ar avea masă și sarcină infinite, ceea ce e absurd, deoarece îi putem măsura sarcina și masa, iar acestea sunt finite. Pentru a ne debarasa de acești infiniti a fost elaborat un procedeu numit renormare.

Procesul de renormare implică scăderea cantităților care rezultă că sunt infinite și negative, astfel încât, efectuând atent calculul, suma valorilor infinite negative și a celor infinite pozitive ce apar în teorie să se anuleze reciproc, lăsând doar un mic rest, valorile finite observate ale masei și sarcinii. Aceste manevre pot semăna cu acel gen de greșeli pentru

care pici la un examen de matematică, iar renormarea pune într-adevăr probleme matematice delicate. Una dintre consecințe este că valorile obținute prin această metodă pentru masa și sarcina electronului pot fi orice numere finite. Acest fapt are avantajul că fizicienii pot alege înfiniții negativi așa încât să obțină rezultatul corect pentru masa și sarcina electronului, dar are dezavantajul că aceste valori nu pot fi deduse din teorie. Dar, odată ce am fixat masa și sarcina electronului în acest mod, putem folosi QED pentru a face multe alte predicții foarte precise, toate în excelent acord cu observațiile, astfel că renormarea este unul din ingredientele esențiale ale QED. Unul dintre primele succese ale QED a fost predicția corectă a așa-numitei deplasări Lamb, o mică modificare a energiei uneia din stările atomului de hidrogen, descoperită în 1947.

Succesul renormării în QED a încurajat încercările de a găsi teorii cuantice de câmp care să descrie și celelalte trei forțe din natură. Împărțirea forțelor din natură în patru clase are probabil un caracter artificial și e o consecință a limitelor înțelegerii noastre. Oamenii au căutat deci o teorie a tot ce există care să unifice cele patru clase într-o singură lege, compatibilă cu teoria cuantică. Aceasta ar fi căutarea Graalului în fizică.

Un indiciu că unificarea e abordarea corectă a venit din teoria forței slabe. Teoria cuantică de câmp ce descrie de una singură forță slabă nu poate fi renormată: ea conține înfiniți ce nu se anulează prin scăderea unui număr finit de cantități cum sunt masa sau sarcina. Dar, în 1967, Abdus Salam și Steven Weinberg, independent unul de altul, au propus o teorie în care electromagnetismul era unificat cu forța slabă, și au găsit că unificarea elimina problema înfiniților. Forța unificată poartă



numele de forță electroslabă. Teoria sa poate fi renormată, și a prezis existența a trei noi particule numite  $W^+$ ,  $W^-$ , și  $Z^0$ . Dovezi privind existența lui  $Z^0$  au fost descoperite la CERN, lângă Geneva, în 1973. Salam și Weinberg au primit Premiul Nobel în 1979, dar particulele  $W$  și  $Z$  au fost observate direct abia în 1983.

Forța tare poate fi renormată de una singură într-o teorie numită cromodinamică cuantică [*quantum chromodynamics*] sau QCD. Conform QCD, protonul, neutronul și multe alte particule de materie elementare se compun din cuarci, care au o proprietate remarcabilă numită de fizicieni culoare (de aici termenul de „cromodinamică“, deși culorile cuarcilor sunt doar niște convenții utile, fără vreo legătură cu culorile vizibile). Cuarzii pot avea trei așa-numite culori: roșu, verde și albastru. În plus, fiecare cuarc are și un partener antiparticulă, iar culorile acestora se numesc anti-roșu, anti-verde și anti-albastru. Ideea este că doar combinațiile fără culoare pot exista ca particule libere. Asemenea combinații neutre de cuarci pot fi obținute pe două căi. O culoare și anti-culoarea ei se anulează reciproc, astfel că un cuarc și un anti-cuarc formează o pereche fără culoare, o particulă instabilă numită mezon. De asemenea, atunci când toate cele trei culori (sau toate cele trei anti-culori) se amestecă, rezultatul nu are culoare. Trei cuarci, câte unul de fiecare culoare, formează particule stabile numite barioni, cum sunt de pildă protonii și neutronii (iar trei anti-cuarci formează anti-particulele barionilor). Protonii și neutronii sunt barionii care alcătuiesc nucleul atomilor și constituie baza întregii materii normale din univers.

QCD are de asemenea o proprietate numită libertate asimptotică, la care ne-am referit fără s-o fi numit în

capitolul 3. Libertatea asimptotică înseamnă că forțele tari dintre cuarci sunt mici atunci când cuarcii stau aproape unul de altul, dar cresc dacă ei se îndepărtează, ca și cum ar fi uniți cu benzi elastice. Libertatea asimptotică explică de ce nu vedem în natură cuarci izolați și de ce nu-i putem produce în laboratoare. Totuși, deși nu putem observa cuarci individuali, acceptăm modelul fiindcă reușește să explice foarte bine comportamentul protonilor, neutronilor și al altor particule de materie.

După unificarea forței slabe cu cea electromagnetică, fizicienii au început prin anii '70 să caute o modalitate de a cuprinde și forța tare în teorie. Există mai multe așa-numite teorii ale marii unificări [*grand unified theories*] sau GUT, care unifică forța tare cu cea slabă și cea electromagnetică, dar în general ele prezic că protonii, materia din care suntem alcătuiți, se dezintegrează după aproximativ  $10^{32}$  ani. Acesta e un timp de viață foarte lung, dacă ținem cont că universul are abia vârsta de  $10^{10}$  ani. Dar, în fizica cuantică, atunci când spunem că o particulă are un timp mediu de viață de  $10^{32}$  ani, nu înseamnă că majoritatea particulelor trăiesc aproximativ  $10^{32}$  ani, unele ceva mai mult, iar altele ceva mai puțin, ci că în fiecare an particula are o probabilitate de 1 la  $10^{32}$  să se dezintegreze. Prin urmare, dacă aveți un rezervor conținând  $10^{32}$  protoni, în timp de doar câțiva ani ar trebui să vedeți câțiva protoni dezintegrându-se. Nu e prea greu să construiești o asemenea cisternă uriașă, deoarece  $10^{32}$  protoni sunt conținuți în doar o mie de tone de apă. Oamenii de știință au făcut asemenea experimente. S-a dovedit că nu e deloc ușor să detectezi dezintegrările și să le deosebești de alte evenimente generate de razele cosmice care ne bombardează continuu din cosmos.

Pentru a minimiza fondul, experimentele sunt efectuate la mare adâncime, în locuri cum e mina Kamioka, la 1 000 de metri sub un munte din Japonia, care e oarecum protejată de razele cosmice. Ca rezultat al observațiilor din 2009, cercetătorii au ajuns la concluzia că, dacă cumva protonii se dezintegrează, atunci timpul de viață al protonilor este mai mare de  $10^{34}$  ani, o veste proastă pentru teoriile marii unificări.

Deoarece nici dovezile experimentale anterioare nu veniseră în sprijinul teoriilor marii unificări, majoritatea fizicienilor au adoptat o teorie ad-hoc numită model standard, care cuprinde teoria unificată a forțelor electrolabe și QCD ca teorie a forțelor tari. În modelul standard însă forța electrolabă și cea tare acționează separat și nu sunt cu adevărat unificate. Modelul standard este unul de succes și concordă cu toate observațiile actuale, dar e în fond nesatisfăcător fiindcă, în afară de faptul că nu unifică forța tare cu cea electrolabă, nu include gravitația.

Chiar dacă s-a dovedit că e greu de contopit forța tare cu cea electrolabă, aceste dificultăți nu sunt nimic în comparație cu problema contopirii gravitației cu celelalte trei forțe, sau măcar cu crearea unei teorii cuantice de sine stătătoare a gravitației. Motivul pentru care o teorie cuantică a gravitației e atât de dificil de creat se leagă de principiul de incertitudine al lui Heisenberg, despre care am vorbit în capitolul 4. Deși nu e evident, din acel principiu rezultă că valoarea unui câmp și viteza cu care el se modifică joacă același rol ca și poziția și impulsul unei particule. Altfel spus, cu cât una din ele e mai precis determinată, cu atât mai puțin precis poate fi determinată cealaltă. O consecință importantă a acestui fapt este că nu poate exista spațiu gol. Aceasta pentru că spațiul gol ar însemna că atât

valoarea câmpului, cât și viteza cu care el variază ar fi exact zero. (Dacă viteza de variație n-ar fi zero, spațiul n-ar mai rămâne gol.) Deoarece principiul de incertitudine nu permite să avem valori exacte atât pentru câmp, cât și pentru viteza lui de variație, spațiul nu e niciodată gol. El poate avea o stare de energie minimă, numită vid, dar acea stare e supusă la ceea ce numim fluctuații cuantice sau fluctuații ale vidului – particule și câmpuri oscilând între existență și non-existență.

Ne putem închipui fluctuațiile vidului ca niște perechi de particule ce apar împreună la un moment dat, se îndepărtează una de alta, apoi se reîntâlnesc și se anihilează reciproc. În termenii diagramelor Feynman, ele corespund unor bucle închise. Aceste particule se numesc particule virtuale. Spre deosebire de particulele reale, particulele virtuale nu pot fi observate direct cu un detector de particule. Totuși, efectele lor indirecte, cum sunt micile modificări ale energiilor orbitelor electronice, pot fi măsurate, iar ele corespund cu mare precizie predicțiilor teoriei. Problema este că particulele virtuale au energie și, deoarece există un număr infinit de perechi virtuale, ele ar trebui să aibă o cantitate infinită de energie. Conform teoriei relativității generale, aceasta ar însemna ca universul să fie curbat până la o dimensiune infinit de mică, ceea ce evident nu se întâmplă!

Această problemă a infinităților seamănă cu cea care apare în teoriile forțelor tare, slabă și electromagnetică, cu deosebirea că în acele cazuri renormarea înlătură infinități. Dar buclele închise din diagramele Feynman pentru gravitație produc infinități care nu pot fi absorbiți prin renormare, fiindcă în relativitatea generală nu există suficienți parametri renormabili (ca valorile masei și sarcinii) pentru a

elimina toți infiniții cuantici din teorie. Am rămas deci cu o teorie a gravitației care prezice că anumite mărimi precum curbura spațiului-timp sunt infinite, ceea ce nu poate conduce la un univers locuibil. Asta înseamnă că singura posibilitate de a obține o teorie rațională ar fi ca toți infiniții să se anuleze cumva, fără a recurge la renormare.

În 1976 s-a găsit o soluție posibilă la această problemă. Ea se numește supergravitație. Prefixul „super“ nu a fost adăugat pentru că fizicienii s-au gândit că ar fi „super“ ca această teorie cuantică a gravitației să funcționeze. „Super“ desemnează o formă de simetrie pe care o posedă teoria, numită supersimetrie.

În fizică se spune că un sistem are o simetrie dacă proprietățile lui rămân neschimbate la anumite transformări precum rotația în spațiu sau reflexia în oglindă. De exemplu, dacă învârtiți un covrig, el arată exact la fel. Supersimetria este un tip mai subtil de simetrie, care nu poate fi asociată cu transformările spațiului obișnuit. Una dintre consecințele importante ale supersimetriei este că particulele de forță și particulele de materie, și prin urmare forța și materia, sunt două fațete ale aceluiași lucru. Asta înseamnă că fiecare particulă de materie, de pildă un cuarc, trebuie să aibă drept partener o particulă de forță, iar fiecare particulă de forță, de pildă un foton, trebuie să aibă drept partener o particulă de materie. În felul acesta s-ar putea rezolva problema infiniților, deoarece se dovedește că infiniții din buclele închise ale particulelor de forță sunt pozitivi, în timp ce infiniții din buclele închise ale particulelor de materie sunt negativi, astfel încât infiniții din teorie provenind de la particulele de forță și de la partenerii lor de materie tind să se anuleze reciproc. Din păcate, calculele necesare pentru a vedea dacă în supergravitație rămân infiniți care nu se anulează

erau atât de laborioase și dificile și erau atât de expuse erorilor, încât nimeni nu s-a încumetat să le efectueze. Majoritatea fizicienilor credeau însă că supergravitația era probabil răspunsul corect la problema unificării gravitației cu celelalte forțe.

Vă puteți închipui că validitatea supersimetriei e simplu de verificat – n-ai decât să examinezi proprietățile particulelor și să vezi dacă apar în perechi. Nici o particulă partener n-a fost observată, însă diferite calcule efectuate de fizicieni arată că partenerii particulelor pe care le observăm ar trebui să aibă mase de o mie de ori mai mari decât un proton, dacă nu chiar mai mult. Asemenea particule sunt prea grele pentru a apărea în experimentele efectuate până acum, dar există speranța ca ele să fie în cele din urmă create la acceleratorul Large Hadron Collider, de lângă Geneva.

Ideea de supersimetrie a condus la supergravitație, dar noțiunea apăruse deja cu ani în urmă la teoreticienii care studiau nou creată teorie a corzilor [*string theory*]. Conform teoriei corzilor, particulele nu sunt puncte, ci structuri aflate în vibrație, care au lungime, dar nu au lățime sau înălțime – ca niște corzi de vioară infinit de subțiri. Teoriile corzilor conduc și ele la infinit, dar se crede că, în versiunea lor corectă, toți infinitii se vor anula. Teoriile corzilor mai au o trăsătură stranie: ele sunt coerente numai dacă spațiu-timp are zece dimensiuni, în loc de cele patru obișnuite. Zece dimensiuni pot părea incitante, dar ele vă pot crea grave probleme dacă ați uitat cumva unde v-ați parcat mașina. Dacă ele sunt prezente, de ce nu observăm aceste dimensiuni suplimentare? Conform teoriei corzilor, ele sunt curbate într-un spațiu minuscule. Pentru a vă face o imagine, închipuiți-vă o suprafață plană bidimensională. O

numim bidimensională deoarece aveți nevoie de două numere (de exemplu, coordonatele pe verticală și pe orizontală) pentru a localiza orice punct de pe ea. Alt spațiu bidimensional e suprafața unui pai. Pentru a localiza un punct în acest spațiu, trebuie să știți unde se află punctul pe lungimea paiului și în dimensiunea lui circulară. Dar dacă paiul e foarte subțire, într-o foarte bună aproximație, va fi suficientă doar coordonata de pe lungimea paiului și puteți ignora dimensiunea circulară. Iar dacă paiul ar avea un diametru de o milionime de milionime de milionime de milionime de milionime de centimetru, n-ați observa deloc dimensiunea circulară. Aceasta e imaginea pe care și-o fac teoreticienii corzilor despre dimensiunile suplimentare – ele sunt puternic curbate sau încolăcite, la o scară atât de mică, încât nu le vedem. În teoria corzilor, dimensiunile suplimentare sunt încolăcite în ceea ce se numește spațiul intern, spre a fi deosebit de spațiul tridimensional pe care îl cunoaștem din viața de zi cu zi. După cum vom vedea, aceste stări interne nu sunt doar dimensiuni ascunse, ci au o importantă semnificație fizică.

În plus față de problema dimensiunilor, teoria corzilor suferă și de un alt neajuns: se pare că există cel puțin cinci teorii diferite, și milioane de moduri în care dimensiunile suplimentare pot fi încolăcite, ceea ce devine stânjenitor pentru aceia care susțin că teoria corzilor e *unica* teorie a tot ce există. Apoi, prin 1994, fizicienii au început să descopere dualități – diferitele teorii ale corzilor și diferitele moduri de a încolăci dimensiunile suplimentare sunt doar descrieri diferite ale acelorași fenomene în patru dimensiuni. Mai mult, ei au găsit că supergravitația e de asemenea legată în felul acesta de celelalte teorii. Teoreticienii corzilor sunt acum convinși că cele cinci teorii ale

corzilor și supergravitația sunt doar aproximații diferite ale unei teorii mai profunde, fiecare fiind valabilă în situații diferite.

Această teorie fundamentală se numește, după cum am mai menționat, teoria M. Nimeni nu pare să știe ce înseamnă „M“, dar poate veni de la „*master*“ [stăpân], „miracol“ sau „mister“. Sau de la toate trei. Fizicienii încearcă să descifreze natura teoriei M, dar poate că e imposibil. Poate că speranța tradițională a fizicienilor de a avea o singură teorie a naturii e iluzorie, și nu există o formulare unică. Poate că pentru a descrie universul trebuie să folosim teorii diferite în situații diferite. Fiecare teorie poate avea propria ei versiune a realității, dar, conform realismului dependent de model, lucrul acesta e acceptabil atâta vreme cât teoriile coincid în predicțiile lor atunci când se suprapun, adică atunci când pot fi aplicate două simultan.

Indiferent dacă teoria M există ca o formulare unică sau doar ca o rețea, cunoaștem unele dintre proprietățile ei. În primul rând, teoria M are unsprezece dimensiuni spațio-temporale, nu zece. Teoreticienii corzilor bănuiau de mult că predicțiile în zece dimensiuni trebuie ajustate, iar studii recente au arătat că o dimensiune fusese într-adevăr omisă. De asemenea, teoria M poate conține nu doar corzi vibrante, ci și particule punctiforme, membrane bidimensionale, picături tridimensionale, precum și alte obiecte mai greu de imaginat și care ocupă încă mai multe dimensiuni ale spațiului, până la nouă. Aceste obiecte se numesc *p-brane* (unde *p* ia valori de la zero la nouă).

Ce putem spune despre imensul număr de moduri în care se pot încolăci dimensiunile minuscule? În teoria M, aceste spații suplimentare nu pot fi încolăcite oricum. Matematica teoriei impune restricții asupra modului în



care sunt încolăcite dimensiunile spațiului intern. Forma exactă a spațiului intern determină atât valorile constantelor fizice, cum e sarcina electronului, cât și natura interacțiilor dintre particulele elementare. Cu alte cuvinte, ea determină legile aparente ale naturii. Spunem „aparente“, pentru că acestea sunt legile pe care le observăm în universul nostru – legile celor patru forțe și parametrii precum masa și sarcina caracteristice particulelor elementare. Dar legile cu adevărat fundamentale sunt cele ale teoriei M.

Legile teoriei M permit deci existența unor *universuri diferite*, cu legi aparente diferite, în funcție de modul în care e încolăcit spațiul intern. Teoria M are soluții care permit existența a numeroase spații interne diferite, poate chiar  $10^{500}$ , ceea ce înseamnă că ea admite  $10^{500}$  universuri diferite, fiecare cu legile lui. Pentru a vă face o idee asupra acestui număr, gândiți-vă că dacă ar exista o ființă care să poată analiza legile prezise pentru fiecare dintre aceste universuri în doar o milisecundă, și ar fi început la big bang, până în prezent ar fi putut analiza doar  $10^{20}$  dintre ele. Iar asta fără pauze de cafea...

Cu secole în urmă Newton a arătat că ecuațiile matematice pot oferi descrieri uimitor de precise ale modului în care interacționează obiectele, atât pe Pământ, cât și în cer. Oamenii de știință au ajuns să creadă că viitorul întregului univers ar putea fi dezvăluit dacă am cunoaște teoria corectă și dacă am avea suficientă putere de calcul. Au apărut apoi incertitudinea cuantică, spațiile curbe, cuarcii, corzile și dimensiunile suplimentare, iar acțiunea lor conjugată a avut ca rezultat net  $10^{500}$  universuri, fiecare cu legi diferite, iar unul singur corespunzând universului pe care îl cunoaștem. Speranța inițială a fizicienilor de a crea o unică teorie care să explice legile aparente ale universului nostru

ca singura consecință posibilă a câtorva presupuneri simple se pare că ar trebui abandonată. Către ce ne conduce asta? Dacă teoria M admite  $10^{500}$  seturi de legi aparente, cum de am ajuns în acest univers, cu acele legi aparente nouă? Și ce putem spune despre celelalte lumi posibile?

## Selectarea universului

În tradiția tribului boshongo din Africa Centrală, la început au fost doar întunericul, apa și marele zeu Bumba. Într-o bună zi, pe Bumba l-au apucat durerile de stomac și a vomitat soarele. În timp, soarele a mai evaporat din apă, lăsând în urmă uscatul. Dar pe Bumba durerile de stomac nu l-au părăsit, și a vomitat în continuare. Așa au apărut luna, stelele și apoi câteva animale: leopardul, crocodilul, broasca țestoasă, iar în cele din urmă omul. Mayașii din Mexic și din America Centrală vorbeau și ei despre un timp dinainte de creație, când nu existau decât marea, cerul și Creatorul. În tradiția maya, Creatorul, nemulțumit că nu era nimeni să-l slăvească, a făurit pământul, munții, pomii și cele mai multe dintre animale. Dar animalele nu puteau vorbi, așa că s-a hotărât să-i creeze pe oameni. Mai întâi i-a făcut din noroi și pământ, dar ei vorbeau fără șir. Atunci i-a dizolvat și a încercat din nou, de data asta făurindu-i din lemn. Acești oameni erau greoi la minte. A hotărât să-i distrugă, dar ei au evadat în pădure, vătămându-se pe drum, degradându-se treptat și devenind maimuțele de azi. După acest dezastru, Creatorul a ajuns în fine la o formulă care a funcționat, și a făurit primii oameni din porumb alb și galben. Astăzi noi fabricăm etanol din porumb, dar

până acum n-am egalat isprava Creatorului construind și oamenii care să-l bea.

Toate miturile Creației încearcă să răspundă la întrebările pe care ni le punem în această carte: de ce există un univers și de ce universul este așa cum este? Capacitatea noastră de a pune asemenea întrebări a sporit constant de la vechii greci încoace, și mai cu seamă în ultimul secol. Înarmați cu cunoștințele de bază din capitolele precedente, suntem acum gata să oferim un posibil răspuns la aceste întrebări.

Încă din cele mai vechi timpuri a fost pesemne limpede că fie universul e o creație foarte recentă, fie oamenii există doar de un timp care e o parte mică din istoria cosmică. Aceasta deoarece omenirea a progresat atât de repede în cunoaștere și tehnologie, încât, dacă oamenii ar fi existat de milioane de ani, ne-am fi perfecționat cu mult mai mult.

Conform Vechiului Testament, Dumnezeu i-a creat pe Adam și Eva în a șasea zi a Creației. Episcopul Ussher, primat al întregii Irlande între 1625 și 1656, a plasat originea lumii încă și mai precis, la ora nouă dimineața pe 27 octombrie 4004 î.Cr. Noi vedem lucrurile altfel: oamenii sunt o creație recentă, dar universul a apărut mult mai devreme, cu aproximativ 13,7 miliarde de ani în urmă.

De fapt, prima dovadă că universul are un început datează din anii '20. După cum am spus în capitolul 3, a fost o vreme când majoritatea oamenilor de știință credeau într-un univers staționar care a existat dintotdeauna. Dovezile în sens contrar au fost indirecte, bazate pe observațiile făcute de Edwin Hubble cu telescopul de 100 de țoli de pe Mount Wilson, lângă Pasadena, California. Analizând spectrul luminii emise de ele, Hubble a constatat că aproape toate galaxiile se îndepărtează de noi, și, cu cât sunt mai departe, cu atât se deplasează mai

repede. În 1929 el a enunțat o lege care leagă viteza de îndepărtare de distanța față de noi, și a tras concluzia că universul se află în expansiune. Dacă e adevărat, atunci universul trebuie să fi fost mai mic în trecut. De fapt, dacă extrapolăm spre trecutul îndepărtat, întreaga materie și energie din univers trebuie să fi fost concentrată într-o regiune foarte mică, de temperatură și densitate uriașe, iar, dacă ne întoarcem suficient în timp, trebuie să fi existat un moment când a început totul – evenimentul pe care îl numim acum big bang.

Ideea că universul se află în expansiune e mai subtilă decât pare la prima vedere. Acesta nu înseamnă, de pildă, că universul se extinde în felul în care am putea extinde o casă dărâmând un zid și construind o nouă baie pe locul unde altădată se afla un stejar maiestuos. Nu spațiul în sine se *extinde*, ci distanța dintre oricare două puncte *din* univers crește. Această idee a apărut în anii '30, în toiul unor dispute aprige, dar unul dintre cele mai bune moduri de a o vizualiza rămâne metafora propusă în 1931 de astronomul Arthur Eddington de la Universitatea Cambridge. Eddington își închipuia universul ca suprafața unui balon ce se umflă, iar galaxiile ca puncte pe acea suprafață. Imaginea arată limpede de ce galaxiile situate la distanțe mari de noi se îndepărtează mai repede decât cele apropiate. De exemplu, dacă raza balonului se dublează în fiecare oră, atunci distanța dintre oricare două galaxii se dublează în fiecare oră. Dacă la un moment dat distanța dintre două galaxii este de 1 cm, peste o oră ea va fi de 2 cm, iar ele vor părea că se deplasează una față de alta cu viteza de 1 cm/oră. Dacă însă distanța inițială dintre ele este de 2 cm, după o oră ea va deveni de 4 cm, și va părea că galaxiile se îndepărtează una de alta cu 2 cm/oră. Exact asta a găsit Hubble:

cu cât o galaxie se află mai departe, cu atât se îndepărtează mai repede de noi.

E important să înțelegem că expansiunea spațiului nu afectează dimensiunea obiectelor materiale cum sunt galaxiile, stelele, merele, atomii sau alte obiecte menținute laolaltă printr-un tip oarecare de forță. De pildă, dacă trăsăm un cerc în jurul unui roi de galaxii pe balon, cercul nu va crește atunci când balonul se umflă. Datorită faptului că galaxiile sunt legate prin forțe gravitaționale, cercul și galaxiile aflate în interiorul lui își vor păstra dimensiunea și configurația când balonul se expandează. Acest lucru e important deoarece putem detecta expansiunea doar dacă instrumentele noastre de măsură au dimensiuni fixe. Dacă totul s-ar expanda, atunci și noi, împreună cu riglele noastre, cu laboratoarele etc., ne-am expanda proporțional și n-am mai putea observa vreo diferență.

Faptul că universul se extinde l-a șocat pe Einstein. Dar posibilitatea ca galaxiile să se îndepărteze unele de altele fusese propusă cu câțiva ani înaintea articolului lui Hubble pe baze teoretice decurgând din chiar ecuațiile lui Einstein. În 1922, fizicianul și matematicianul rus Aleksandr Friedmann a studiat ce s-ar întâmpla într-un model de univers bazat pe două presupuneri care simplifică mult calculele matematice: universul apare identic indiferent în ce direcție și din ce punct a-i privi. Știm că prima ipoteză a lui Friedmann nu e întru totul adevărată – din fericire, universul nu e pretutindeni uniform! Dacă ne uităm într-o direcție putem vedea Soarele, dacă ne uităm în alta putem vedea Luna sau o colonie de lilieci vampiri în zbor. Dar universul pare să fie aproximativ același în toate direcțiile atunci când privim la o scară mult mai mare – mai mare chiar și decât distanța dintre galaxii. Este ca și cum ai privi o pădure. Dacă ești suficient de aproape, poți vedea frunzele sau

măcar copacii individuali și spațiile dintre ei. Dar dacă ești la o înălțime atât de mare încât, ținând mâna întinsă, degetul mare acoperă un kilometru pătrat de copaci, pădurea îți va apărea ca o tentă uniformă de verde. Am spune că, la acea scară, pădurea este uniformă.

Pe baza acestor ipoteze, Friedmann a găsit o soluție a ecuațiilor lui Einstein în care universul se dilată exact așa cum avea curând să descopere Hubble că se întâmplă în realitate. Universul lui Friedmann începe având dimensiune nulă și se dilată până ce atracția gravitațională îl încetinește și în cele din urmă îl face să se prăbușească în sine însuși. (Mai există și alte două alte tipuri de soluții ale ecuațiilor lui Einstein care satisfac de asemenea presupunerile modelului lui Friedmann, una corespunzând unui univers care continuă să se extindă la nesfârșit, deși expansiunea e puțin încetinită, iar cealaltă corespunzând unui univers în care viteza de expansiune tinde către zero, fără să devină însă niciodată zero.) Friedmann a murit la scurt timp după ce și-a publicat articolul, iar ideile sale au rămas în mare parte necunoscute până la descoperirea lui Hubble. Dar, în 1927, un profesor de fizică și preot romano-catolic pe nume Georges Lemaître a propus o idee asemănătoare: dacă urmărim înapoi în timp istoria universului, el devine tot mai mic până ajungem la evenimentul creației – ceea ce numim acum big bang.

Nu tuturor le place modelul big bang. De fapt, termenul de „big bang” a fost născocit în 1949 de astrofizicianul Fred Hoyle de la Cambridge, care credea într-un univers în eternă expansiune, iar termenul se voia o descriere peiorativă. Prima observație directă care a venit în sprijinul ideii de big bang a apărut abia în 1965, odată cu descoperirea existenței unui fond slab de microunde în

spațiul cosmic. Această radiație cosmică de fond de microunde (RCFM) este aceeași cu cea din cuptoarele cu microunde, însă e mult mai slabă. Puteți observa RCFM acordându-vă televizorul pe un canal neutilizat – câteva procente din „puricii” pe care-i vedeți pe ecran sunt produși de ea. Radiația a fost descoperită din întâmplare la Laboratoarele Bell de către doi cercetători care încercau s-o elimine din antena lor de microunde. La început, au crezut că paraziții puteau fi produși de dejecțiile porumbelor care se adăpostiseră în aparat, dar s-a dovedit că problema lor avea origini mult mai interesante – RCFM este radiația rămasă din universul timpuriu foarte fierbinte și dens care trebuie să fi existat la puțin timp după big bang. Pe măsură ce universul s-a dilatat, el s-a răcit, iar radiația a devenit acea urmă slabă pe care o detectăm acum. În prezent, aceste microunde v-ar putea încălzi mâncarea doar până la  $-270$  grade Celsius, adică doar cu 3 grade peste zero absolut, deci nu le putem folosi ca să facem popcorn.

Astronomii au găsit și alte amprente care vin în sprijinul modelului big bang al unui univers timpuriu mic și fierbinte. De exemplu, în cursul primelor minute, universul trebuie să fi fost mai fierbinte decât centrul unei stele tipice. În această perioadă întregul univers trebuie să se fi comportat ca un reactor nuclear de fuziune. Reacțiile trebuie să fi încetat atunci când universul a crescut și s-a răcit suficient, dar teoria spune că în acel moment universul era compus în principal din hidrogen, la care se adăugau 23 de procente de heliu și urme de litiu (toate elementele mai grele s-au format ulterior, în interiorul stelelor). Calculele sunt în bun acord cu cantitățile de heliu, hidrogen și litiu observate.





Ideea că un asemenea episod de inflație ar fi putut avea loc a fost propusă în 1980, pe baza unor considerații care depășesc cadrul teoriei relativității generale a lui Einstein și țin seama de aspecte ale teoriei cuantice. Deoarece nu avem o teorie cuantică completă a gravitației, fizicienii nu cunosc deocamdată cu certitudine amănuntele inflației, nu știu exact cum s-a petrecut. Conform teoriei, expansiunea provocată de inflație n-a fost *perfect* uniformă, așa cum prezicea modelul big bang tradițional. Aceste neregularități puteau genera minuscule variații de temperatură ale RCFM în diferite direcții. Variațiile sunt mult prea mici ca să fi fost observate în 1960, dar au fost descoperite mai întâi în 1992 de satelitul COBE lansat de NASA, iar apoi au fost măsurate de urmașul său, satelitul WMAP, lansat în 2001. Aceste observații ne încredințează că inflația a avut într-adevăr loc.

Deși micile variații ale RCFM sunt dovezi în favoarea inflației, un motiv pentru care inflația e un concept important este aproape perfecta uniformitate a temperaturii RCFM. Dacă faceți așa încât o parte a unui obiect să fie mai caldă decât restul și apoi așteptați, partea caldă se va răci, iar restul se va încălzi, până când temperatura obiectului va fi uniformă. În mod asemănător, ne-am aștepta ca universul să ajungă în cele din urmă la o temperatură uniformă. Dar acest proces ia timp, iar, dacă inflația n-ar fi avut loc atunci, n-ar fi fost suficient timp în istoria universului pentru a se egaliza temperatura unor regiuni atât de îndepărtate, presupunând că viteza transferului de căldură e limitată de viteza luminii. O perioadă de expansiune foarte rapidă (mult mai rapidă decât lumina) rezolvă problema, deoarece a existat suficient timp pentru ca egalizarea să aibă loc în minusculul univers preinflaționar.

Inflația explică *bang-ul* [explozia] din *big bang* [marea explozie], cel puțin în sensul că expansiunea pe care o reprezintă a fost mult mai puternică decât expansiunea prezisă de teoria big bang tradițională bazată pe relativitatea generală, pentru intervalul de timp în care a avut loc inflația. Problema este că, pentru ca modelele noastre teoretice să funcționeze, starea inițială a universului trebuie să fi fost stabilită într-un mod cu totul aparte și extrem de improbabil. Astfel, teoria tradițională a inflației rezolvă o serie de probleme, dar creează altele – nevoia unei stări inițiale cu totul aparte. Această problemă a momentului zero e eliminată în teoria creației universului pe care o vom prezenta.

Deoarece nu putem vorbi despre creație folosind teoria relativității generale a lui Einstein, dacă vrem să descriem originea universului, va trebui să înlocuim relativitatea generală cu o teorie mai completă. Ar fi fost de așteptat să avem nevoie de o teorie mai completă chiar dacă teoria relativității generale ar fi fost aplicabilă la acel moment, odată ce relativitatea generală nu ține cont de structura materiei la scară foarte mică, unde guvernează legile teoriei cuantice. Am menționat în capitolul 4 că practic teoria cuantică nu are prea mare relevanță în studiul structurii universului la scară mare, deoarece teoria cuantică se aplică în descrierea naturii la scară microscopică. Dar, dacă ne întoarcem suficient de mult în timp, universul era atât de mic, încât avea o dimensiune de ordinul scării Planck – o miliardime de bilionime de bilionime de centimetru –, scara la care teoria cuantică trebuie luată în considerare. Astfel, chiar dacă nu avem încă o teorie cuantică a gravitației, știm totuși că originea universului a fost un eveniment cuantic. Prin urmare, la fel cum am combinat teoria cuantică cu relativitatea generală – cel puțin în mod provizoriu –

pentru a deduce teoria inflației, dacă vrem să ne întoarcem și mai mult în timp și să înțelegem originea universului, trebuie să combinăm ceea ce știm despre relativitatea generală cu teoria cuantică.

Pentru a vedea cum putem face acest lucru, trebuie să înțelegem principiul conform căruia gravitația deformează spațiul și timpul. Deformarea spațiului e mai ușor de vizualizat decât deformarea timpului. Imaginați-vă universul ca suprafața unei mese plane de biliard. Masa de biliard e un spațiu plat, cel puțin în două dimensiuni. Dacă rostogoliți o bilă pe masă, ea se va deplasa în linie dreaptă. Dar dacă pe alocuri masa se deformează, atunci traiectoria bilei devine curbă.

Este ușor de văzut cum e deformată masa de biliard în acest exemplu, deoarece e curbată într-o a treia dimensiune, exterioară, pe care o putem vedea. Din moment ce nu putem ieși în afara propriului nostru spațiu-timp pentru a-i vedea deformarea, deformarea spațiului-timp din universul nostru e mai greu de imaginat. Curbura însă poate fi detectată chiar dacă nu putem ieși pentru a o vedea din perspectiva unui spațiu cu mai multe dimensiuni. Ea poate fi detectată chiar dinăuntrul spațiului. Închipuiți-vă o micro-furnică prizonieră pe suprafața mesei. Chiar și fără să aibă posibilitatea de a părăsi masa, furnica poate detecta deformarea dacă măsoară cu atenție distanțele. De exemplu, perimetrul unui cerc într-un spațiu plat este puțin mai mare decât de trei ori diametrul lui (factorul exact este  $\pi$ ). Dar, dacă furnica ar lua în considerare un cerc care înconjoară groapa din masă, ea ar găsi că diametrul e mai mare decât s-ar aștepta, mai mare decât o treime din perimetru. De fapt, dacă groapa ar fi suficient de adâncă, furnica ar descoperi că perimetrul cercului e *mai mic* decât

diametrul lui. Același lucru e valabil pentru deformarea universului nostru – ea alungește sau comprimă distanța dintre punctele spațiului, transformându-i geometria sau forma într-un mod măsurabil chiar din interiorul universului. Deformarea timpului alungește sau comprimă intervalele de timp într-un mod asemănător.

Înarmați cu aceste idei, să ne întoarcem la problema începuturilor universului. Putem vorbi separat despre spațiu și timp, așa cum am făcut-o mai sus, în situații în care avem de-a face cu viteze mici și gravitație slabă. În general însă, timpul și spațiul pot fi intercorelate, astfel încât alungirea și comprimarea lor implică de asemenea un oarecare amestec. Acest amestec e important în universul timpuriu și e esențial pentru a înțelege începutul timpului.

Problema începutului timpului seamănă oarecum cu problema marginilor lumii. Pe vremea când oamenii credeau că Pământul e plat, ei trebuie să se fi mirat cum de marea nu se varsă pe la margini. Acest lucru a fost testat experimental: poți merge în jurul lumii fără să cazi. Întrebarea ce se întâmplă la marginea lumii și-a găsit răspuns atunci când oamenii au înțeles că Pământul nu e o suprafață plată, ci una curbă. Timpul însă părea ca o șină de cale ferată. Dacă avea un început, atunci trebuie să fi fost cineva (i.e., Dumnezeu) care să pună trenurile în mișcare. Chiar dacă teoria relativității generale a lui Einstein a unificat spațiul și timpul în spațiu-timp și a introdus un oarecare amestec al spațiului cu timpul, timpul rămânea totuși diferit de spațiu și fie avea un început și un sfârșit, fie continua la nesfârșit. Dar, dacă adăugăm efectele teoriei cuantice la teoria relativității, în cazuri extreme deformarea poate fi atât de mare, încât timpul se comportă ca o altă dimensiune a spațiului.

La început – pe când universul era suficient de mic pentru a fi guvernat atât de teoria relativității generale, cât și de teoria cuantică – au existat într-adevăr patru dimensiuni spațiale și nici una temporală. Prin urmare, atunci când vorbim de „începutul” universului ajungem la ideea subtilă că, privind înapoi către universul primordial, timpul așa cum îl cunoaștem nu exista! Trebuie să acceptăm că ideile noastre obișnuite despre spațiu și timp nu se aplică universului primordial. Aceasta depășește experiența noastră, dar nu și imaginația sau matematica noastră. Dacă în universul primordial toate cele patru dimensiuni se comportă ca spațiu, ce putem spune despre începutul timpului?

Înțelegerea faptului că timpul se poate comporta ca o altă direcție a spațiului înseamnă că putem scăpa de problema începutului timpului într-un mod asemănător felului în care ne-am debarasat de ideea marginilor lumii. Să presupunem că începutul universului a fost ca Polul Sud al Pământului, gradele de latitudine jucând rolul timpului. Pe măsură ce ne îndreptăm spre nord, cercurile de latitudine constantă, reprezentând dimensiunea universului, se vor dilata. Universul ar începe ca un punct la Polul Sud, dar Polul Sud e un punct la fel ca oricare altul. Să te întrebi ce a fost înainte de începutul universului ar deveni o întrebare fără sens, fiindcă nu există nimic la sud de Polul Sud. În această descriere, spațiul-timp nu are margini – aceleași legi ale naturii acționează la Polul Sud la fel ca în alte locuri. În mod asemănător, atunci când combinăm teoria relativității generale cu teoria cuantică, întrebarea ce a fost înainte de începutul universului își pierde orice sens. Ideea că istoriile trebuie să fie suprafețe închise fără frontiere se numește „condiția fără frontiere”.

De-a lungul secolelor mulți oameni, între care și Aristotel, credeau că universul trebuie să fi existat dintotdeauna, pentru a evita problema felului în care a apărut. Alții credeau că universul a avut un început, și au folosit aceasta ca argument în favoarea existenței lui Dumnezeu. Înțelegerea faptului că timpul se comportă ca spațiu ne oferă o nouă posibilitate. Ea înlătură vechiul refuz al ideii de început al universului, dar ne spune de asemenea că începutul universului a fost guvernat de legi ale naturii, și nu mai e nevoie de vreun zeu care să-l fi pus în mișcare.

Dacă originea universului a fost un eveniment cuantic, el ar trebui să fie descris corect de sumele după istorii ale lui Feynman. A aplica teoria cuantică la întregul univers – unde observatorul face parte din sistemul observat – e însă complicat. În capitolul 4 am văzut că particulele de materie lansate către un paravan cu două fante pot prezenta figuri de interferență, la fel cum se întâmplă cu undele de pe suprafața apei. Feynman a arătat că aceasta se întâmplă pentru că o particulă nu are o istorie unică: atunci când se deplasează dintr-un punct inițial A într-un punct final B, ea nu urmează o traiectorie precisă, ci urmează simultan toate traiectoriile posibile care leagă cele două puncte. Din această perspectivă, interferența nu e surprinzătoare, fiindcă, de exemplu, particula poate să treacă simultan prin ambele fante și să interfereze cu ea însăși. Aplicată la mișcarea unei particule, metoda lui Feynman ne spune că, pentru a calcula probabilitatea oricărui punct final, trebuie să luăm în considerare toate istoriile posibile pe care particula le poate urma din punctul inițial până în punctul final. Putem de asemenea folosi metodele lui Feynman la calculul probabilităților cuantice pentru observații

asupra universului. Dacă se aplică universului ca întreg, nu există un punct A, deci vom aduna toate istoriile care satisfac condiția fără frontiere și sfârșesc în universul pe care îl observăm azi.

Din această perspectivă, universul a apărut spontan, începând în toate modurile posibile. Majoritatea acestora corespund altor universuri. Deși unele dintre acele universuri seamănă cu al nostru, cele mai multe sunt foarte diferite. Ele nu diferă doar prin detalii – a murit sau nu tânăr Elvis, năpîi se mănîncă sau nu la desert –, ci chiar prin legile aparente ale naturii. De fapt, există multe universuri cu multe seturi diferite de legi ale fizicii. Unii învăluie în mister această idee, cunoscută și sub numele de multivers, dar nu e vorba decât de diferite expresii ale sumei lui Feynman după istorii.

Pentru a ne reprezenta acest lucru, să modificăm analogia cu balonul lui Eddington și să ne închipuim universul care se extinde ca suprafața unei bule. Imaginea noastră privind creația cuantică spontană a universului seamănă puțin cu formarea bulelor de vaporii în apa care fierbe. Multe bule minuscule apar, iar apoi dispar. Acestea reprezintă mini-universuri care se extind, dar, pe când au încă dimensiuni microscopice, colapsează din nou. Ele reprezintă posibile universuri alternative, dar nu sunt de mare interes, fiindcă nu durează suficient cât să formeze galaxii și stele, ca să nu mai vorbim despre viață inteligentă. Câteva dintre aceste mici bule vor crește totuși suficient pentru a nu mai colapsa. Ele vor continua să se extindă cu o viteză tot mai mare și vor forma bulele de vaporii pe care le putem vedea. Acestea corespund universurilor care încep să se extindă cu o viteză tot mai mare – cu alte cuvinte, universurilor în stare de inflație.



După cum am spus, expansiunea provocată de inflație nu a fost perfect uniformă. În suma după istorii există doar o singură istorie perfect uniformă și regulată, iar ea va avea cea mai mare probabilitate, dar multe alte istorii care sunt ușor neregulate vor avea probabilități aproape la fel de mari. De aceea inflația prezice că universul timpuriu trebuie să fi fost ușor neuniform, corespunzând micilor variații de temperatură observate în radiația cosmică de fond. Neregularitățile din universul timpuriu au fost șansa noastră. De ce? Omogenitatea e bună dacă nu vrei să se separe smântâna din lapte, dar un univers omogen este unul plictisitor. Neregularitățile în universul timpuriu sunt importante deoarece, dacă unele regiuni au densități puțin mai mari decât altele, atracția gravitațională a densității suplimentare va încetini expansiunea acelei regiuni în comparație cu regiunile învecinate. Cum forța gravitațională adună cu încetul materia laolaltă, în cele din urmă ea poate declanșa colapsarea materiei pentru a se forma galaxii și stele, care pot conduce la apariția planetelor și, cel puțin într-o împrejurare, la apariția oamenilor. Așa încât harta de microunde a cerului este planul întregii structuri a universului. Suntem produsul fluctuațiilor cuantice din universul foarte timpuriu. Dacă sunteți religioși, puteți spune că Dumnezeu dă într-adevăr cu zarul.

Această idee a condus la o perspectivă asupra universului profund diferită de concepția tradițională, obligându-ne să privim altfel istoria acestuia. Pentru a face predicții în cosmologie, trebuie să calculăm probabilitățile diferitelor stări ale întregului univers din prezent. De regulă, în fizică presupunem o stare inițială pentru un sistem și studiem evoluția lui în timp, folosind ecuațiile matematice relevante. Dată fiind starea sistemului la un moment dat,

încercăm să calculăm probabilitatea ca sistemul să se afle într-o stare diferită la un moment ulterior. Presupunerea obișnuită în cosmologie este aceea că universul are o istorie unică. Putem folosi legile fizicii pentru a calcula evoluția acestei istorii în timp. Numim aceasta abordarea „de jos în sus” a cosmologiei. Dar, deoarece trebuie să ținem cont de natura cuantică a universului așa cum este exprimată de suma lui Feynman după istorii, amplitudinea de probabilitate ca universul să se afle acum într-o anumită stare se obține însumând contribuțiile tuturor istoriilor care satisfac condiția fără frontiere și sfârșesc în acea stare. Cu alte cuvinte, în cosmologie nu trebuie să urmărim istoria universului de jos în sus, deoarece aceasta presupune că există o singură istorie, cu un punct inițial și o evoluție bine definite. Trebuie în schimb să urmărim istoriile de sus în jos, pornind de la prezent spre trecut. Unele istorii vor fi mai probabile decât altele, iar suma va fi în mod firesc dominată de o singură istorie care începe cu creația universului și culminează cu starea considerată. Vor exista însă istorii diferite pentru diferite stări posibile ale universului în prezent. Aceasta conduce la o perspectivă complet diferită asupra cosmologiei și asupra raportului dintre cauză și efect. Istoriile care contribuie la suma lui Feynman nu au o existență independentă, ci depind de ce anume se măsoară. Noi creăm istoria prin observațiile noastre, iar nu istoria ne creează pe noi.

Ideea că universul nu are o singură istorie independentă de observator poate părea că intră în contradicție cu unele fapte pe care le cunoaștem. Ar putea exista o istorie în care Luna să fie făcută din brânză de Roquefort. Noi am observat însă că Luna nu e făcută din brânză, ceea ce e o veste proastă pentru șoareci. Așadar, istoriile în care Luna e făcută din brânză nu contribuie la starea

actuală a universului nostru, deși ele ar putea contribui la starea altor universuri. Ideea poate părea că ține de SF, dar lucrurile nu stau așa.

O consecință importantă a abordării de sus în jos este aceea că legile aparente ale naturii depind de istoria universului. Mulți oameni de știință cred că există o singură teorie care explică acele legi, precum și constantele fizice din natură, de pildă, masa electronului sau numărul de dimensiuni ale spațiului-timp. Dar cosmologia de sus în jos stipulează faptul că legile aparente ale naturii sunt diferite pentru istorii diferite.

Să luăm în considerare dimensiunile aparente ale universului. Conform teoriei M, spațiul-timp are zece dimensiuni spațiale și una temporală. Ideea este că șapte dimensiuni spațiale sunt încolăcite atât de strâns, încât nu le putem observa, dându-ne cu iluzia că nu există decât cele trei dimensiuni extinse cu care suntem obișnuiți. Una dintre întrebările rămase fără răspuns în teoria M este: de ce în universul nostru nu sunt mai multe dimensiuni extinse și de ce există dimensiuni încolăcite?

Mulți cred că există un mecanism care face ca toate dimensiunile spațiale, cu excepția celor trei, să se încolăcească spontan. Sau poate că toate dimensiunile au început prin a fi mici, dar, din motive de neînțeles, trei dimensiuni spațiale s-au extins, iar celelalte nu. Se pare totuși că nu există motive dinamice pentru ca universul să apară cvadri-dimensional. Pe de altă parte, cosmologia de sus în jos prezice că numărul dimensiunilor spațiale nu e fixat de nici un principiu al fizicii. Există câte o amplitudine de probabilitate cuantică pentru fiecare număr de dimensiuni spațiale extinse, de la zero la zece. Sumele Feynman le permit pe toate acestea, pentru fiecare istorie posibilă

a universului, dar observația că universul nostru are trei dimensiuni spațiale extinse selectează subclasa istoriilor care au proprietatea de a fi observate. Cu alte cuvinte, probabilitatea cuantică pentru ca universul să aibă mai mult sau mai puțin de trei dimensiuni spațiale extinse este irelevantă, deoarece am determinat deja că ne aflăm într-un univers cu trei dimensiuni spațiale extinse. Deci atâta timp cât amplitudinea de probabilitate pentru trei dimensiuni spațiale extinse nu este exact zero, nu contează cât de mică este în comparație cu amplitudinea de probabilitate pentru alte numere de dimensiuni. Ar fi ca și cum ne-am întreba care e amplitudinea de probabilitate ca actualul papă să fie chinez. Știm că este german, deși probabilitatea de a fi chinez este mai mare, deoarece există mai mulți chinezi decât germani. În mod asemănător, știm că universul prezintă trei dimensiuni spațiale extinse, iar astfel, chiar dacă alte numere de dimensiuni spațiale extinse ar putea avea o amplitudine de probabilitate mai mare, ne interesează doar istoriile cu trei.

Ce se poate spune despre dimensiunile încolăcite? Să ne aducem aminte că în teoria M forma precisă a dimensiunilor rămase încolăcite, spațiul intern, determină atât valorile cantităților fizice precum sarcina electronului, cât și natura interacțiilor dintre particulele elementare, adică forțele din natură. Lucrurile ar fi fost mai elegante dacă teoria M ar fi permis pentru dimensiunile încolăcite doar o singură formă, sau eventual câteva, din care să le putem cumva elimina pe toate, cu excepția uneia, așa încât să rămânem cu o singură posibilitate pentru legile aparente ale naturii. În schimb, există amplitudini de probabilitate pentru vreo  $10^{500}$  spații interne diferite, fiecare conducând la legi și valori ale constantelor fizice diferite.

Dacă se construiesc istorii ale universului de jos în sus, nu există nici un motiv ca universul să ajungă la spațiul intern pentru interacțiile particulelor pe care îl observăm în realitate, modelul standard (al interacțiilor particulelor elementare). În schimb, în abordarea de sus în jos acceptăm faptul că există universuri cu toate spațiile interne posibile. În unele universuri electronii au greutatea unor mingi de golf, iar forța gravitațională e mai puternică decât magnetismul. În universul nostru se aplică modelul standard, cu toți parametrii săi. Se poate calcula pe baza condiției fără frontiere amplitudinea de probabilitate pentru spațiul intern care conduce la modelul standard. Iar, în ceea ce privește probabilitatea ca universul să aibă trei dimensiuni spațiale extinse, nu contează cât de mică e această amplitudine de probabilitate față de cea a altor posibilități, atâta vreme cât am constatat deja că modelul standard descrie universul nostru.

Teoria pe care o prezentăm în acest capitol e testabilă. În exemplele precedente am subliniat faptul că amplitudinile de probabilitate relative pentru universuri radical diferite, cum ar fi acelea cu alt număr de dimensiuni extinse, nu au importanță. Amplitudinile de probabilitate relative pentru universuri învecinate (adică asemănătoare) sunt importante. Din condiția fără frontiere rezultă că amplitudinea de probabilitate e maximă pentru istoriile în care universul ia naștere complet omogen. Amplitudinea e mai mică pentru universuri mai neregulate. Asta înseamnă că universul timpuriu trebuie să fi fost aproape omogen, doar cu mici neregularități. După cum am spus, putem observa aceste neregularități ca mici variații ale microundelor provenind din direcții diferite pe cer. S-a văzut că ele sunt în perfect acord cu cerințele generale ale teoriei inflației;

totuși, e nevoie de măsurători mai precise pentru a distinge teoria de sus în jos de alte teorii, așa încât ea să fie confirmată sau infirmată. Asemenea măsurători vor putea fi efectuate de sateliți în viitor.

Cu secole în urmă oamenii credeau că Pământul e unic și se află în centrul universului. Azi știm că există sute de miliarde de stele numai în galaxia noastră, multe dintre ele având sisteme planetare, și sute de miliarde de galaxii. Rezultatele prezentate în acest capitol arată că însuși universul nostru e doar unul din nenumărate altele, iar legile sale aparente nu sunt determinate în mod unic. Aceasta îi dezamăgește pesemne pe aceia care sperau că o teorie ultimă, o teorie a tot ce există, ar putea prezice natura fizicii obișnuite. Nu putem prezice trăsături individuale, cum sunt numărul de dimensiuni spațiale extinse sau spațiul intern care determină cantitățile fizice pe care le observăm (de pildă, masa și sarcina electronului sau ale altor particule elementare). Folosim în schimb aceste numere pentru a selecta istoriile ce contribuie la sumele Feynman.

Se pare că ne aflăm într-un punct critic în istoria științei: trebuie să ne schimbăm ideile despre scopul unei teorii fizice și despre condițiile pentru a o accepta. Se pare că numerele fundamentale și chiar forma legilor aparente ale naturii nu sunt impuse de logică sau de principii fizice. Parametrii pot lua multe valori, și legile pot lua orice formă care conduce la o teorie matematică necontradictorie, iar primii chiar iau valori diferite, și cele din urmă chiar iau forme diferite, în universuri diferite. Poate că asta nu satisface dorința noastră umană de a fi deosebiți sau de a descoperi un ansamblu compact și elegant care să conțină toate legile fizicii, dar așa par să stea lucrurile în natură.

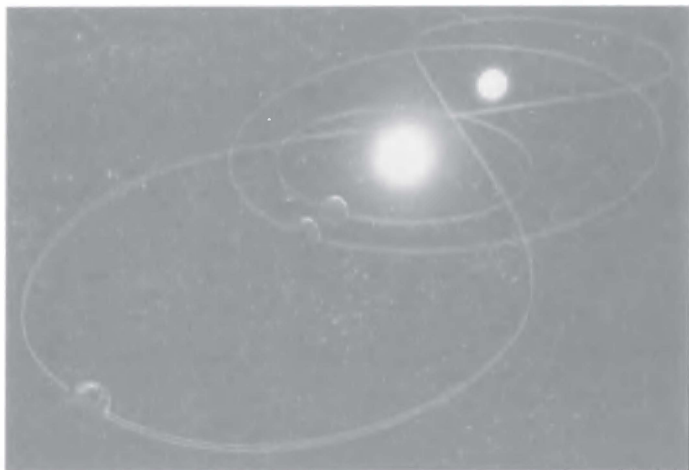
Se pare că există un peisaj vast de universuri posibile. Prin urmare, după cum vom vedea în capitolul următor, universurile în care poate exista viață ca a noastră sunt rare. Trăim într-unul în care viața e posibilă, dar, dacă universul ar fi doar puțin diferit, ființe ca noi n-ar putea exista. Cum explicăm acest reglaj fin? Este el dovada că universul a fost proiectat de un creator binevoitor? Sau știința poate oferi o altă explicație?

## Miracolul aparent

În tradiția chinezească se vorbește despre un moment din epoca dinastiei Hsia (cca 2205–1782 î.Cr.) când mediul nostru cosmic s-a schimbat brusc. Zece sori au apărut pe cer. Oamenii sufereau cumplit din pricina căldurii, astfel încât împăratul a poruncit unui arcaș vestit să doboare sorii suplimentari. Arcașul a fost răsplătit cu o pastilă care avea darul de a-l face nemuritor, dar soția lui i-a furat-o. Pentru această vină a fost surghiunită pe Lună.

Chinezii aveau dreptate să considere că un sistem solar cu zece sori nu e prielnic vieții oamenilor. Astăzi știm că, deși îți oferă pesemne o ocazie bună să te bronzezi, sistemele solare cu mai mulți sori nu permit probabil vieții să se dezvolte. Motivele nu sunt atât de simple precum arșița pustiitoare imaginată în legenda chinezească. De fapt, o planetă se poate bucura de temperaturi plăcute când se rotește în jurul mai multor sori, cel puțin pentru o vreme. Dar încălzirea uniformă pentru un timp îndelungat, condiție ce pare necesară vieții, ar fi puțin probabilă. Pentru a înțelege de ce, să vedem ce se întâmplă în cel mai simplu tip de sistem de sori multipli, unul cu doi sori, numit sistem binar. Aproape jumătate din stelele de pe cer aparțin unor asemenea sisteme. Dar chiar și sistemele binare simple pot menține numai anumite tipuri de orbite stabile, de tipul

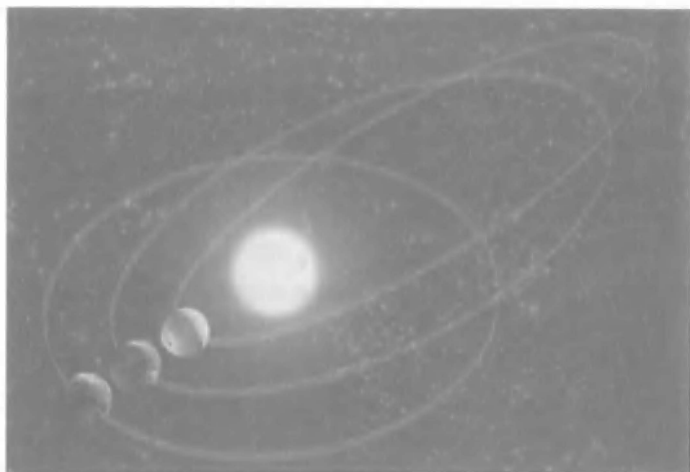




**ORBITE BINARE.** Planetele care orbitează în sisteme stelare binare au probabil o climă neospitalieră, în unele anotimpuri fiind mult prea cald, în altele, mult prea rece pentru viață.

celor prezentate mai sus. În fiecare dintre aceste orbite vor exista probabil momente când planeta va fi ori prea fierbinte, ori prea rece pentru a permite viața. Situația este încă și mai rea pentru sisteme cu mai mulți sori.

Sistemul nostru solar are și alte caracteristici „noro-coase”, fără de care formele de viață complexe n-ar fi putut apărea niciodată. De pildă, legile lui Newton permit orbitelor planetare să fie ori cercuri, ori elipse (elipsele sunt cercuri turtite, mai late de-a lungul unei axe și mai înguste de-a lungul celeilalte). Gradul în care e turtită o elipsă este dat de ceea ce se numește excentricitatea ei, un număr între zero și unu. O excentricitate aproape de zero înseamnă o figură asemănătoare cercului, iar o excentricitate aproape de unu înseamnă o figură foarte turtită. Pe Kepler îl nemulțumea ideea că planetele nu se mișcă pe cercuri perfecte,



**EXCENTRICITĂȚI** Excentricitatea ne spune cât de aproape de cerc este o elipsă. Orbitele circulare sunt mai prielnice vieții, pe când cele foarte alungite duc la variații foarte mari de temperatură între anotimpuri.

dar orbita Pământului are o excentricitate de doar 2%, ceea ce înseamnă că este aproape circulară. După cum vom vedea, acesta e un mare noroc.

Variațiile climatice sezoniere sunt determinate în principal de înclinarea axei de rotație a Pământului în raport cu planul orbitei sale în jurul Soarelui. În timpul iernii din emisfera nordică, de exemplu, Polul Nord este înclinat în sens opus Soarelui. Faptul că în acel moment Pământul se află la cea mai mică distanță de Soare – 147 de milioane de kilometri, față de 152 de milioane de kilometri, cât e distanța până la Soare la începutul lui iulie – are o influență neglijabilă asupra temperaturii, în comparație cu efectul înclinării. Dar, pe o planetă cu o excentricitate orbitală mai mare, variația distanței până la Soare joacă

un rol mult mai important. Pe Mercur, care are o excentricitate de 20%, temperatura este cu aproximativ 100 de grade Celsius mai mare când planeta se află cel mai aproape de Soare (periheliu) decât atunci când se află la cea mai mare distanță de Soare (afeliu). Dacă excentricitatea orbitei terestre ar fi aproape unu, oceanele ar fierbe când ne-am afla cel mai aproape de Soare și ar îngheța atunci când ne-am afla departe, așa încât nici vacanța de vară, nici cea de iarnă n-ar fi prea plăcute. Excentricitățile orbitale mari nu sunt favorabile vieții, prin urmare suntem norocoși că avem o planetă cu o excentricitate orbitală aproape de zero.

Suntem de asemenea norocoși în privința relației dintre masa Soarelui și distanța până la el. Aceasta pentru că masa unei stele determină cantitatea de energie emisă. Stelele cele mai mari au o masă de vreo sută de ori mai mare decât a Soarelui nostru, iar cele mai mici una de vreo sută de ori mai mică. Astfel, considerând aceeași distanță Pământ–Soare, dacă Soarele nostru ar fi avut o masă cu numai 20% mai mare sau mai mică, Pământul ar fi fost mai fierbinte decât este acum Venus sau mai rece decât este acum Marte.

Pentru o stea dată, oamenii de știință definesc zona locuibilă ca pe regiunea îngustă în jurul stelei unde temperaturile sunt astfel încât să poată exista apă în stare lichidă. Zona locuibilă e numită uneori „zonă Goldilocks”\*, deoarece condiția să existe apă lichidă e echivalentă cu

---

\* Ideea de zonă Goldilocks provine dintr-o poveste pentru copii, *Goldilocks și cei trei urși*, în care o fetiță găsește o casă în care locuiesc trei urși. Urșii aveau diferite lucruri: alimente, paturi etc. După ce le-a încercat pe toate, Goldilocks a stabilit că lucrurile unuia dintre urși erau mereu într-o extremă (prea calde, prea mari etc.),

condiția ca temperatura planetei să fie „tocmai bună“ pentru dezvoltarea vieții inteligente. Zona locuibilă din sistemul nostru solar e foarte îngustă. Din fericire pentru aceia dintre noi care reprezintă forme de viață inteligentă, Pământul se află în interiorul ei!

Newton credea că sistemul nostru solar, locuibil în chip straniu, „n-a răsărit din haos doar prin legile naturii“. El susținea că ordinea în univers a fost „creată la început de Dumnezeu, iar apoi păstrată de El până în zilele noastre în aceeași stare“. E ușor de înțeles de ce credea asta. Numeroasele întâmplări improbabile care au conlucrat pentru a face cu puțință existența noastră și planul unei lumi propice omului ar fi într-adevăr de neînțeles dacă sistemul nostru solar ar fi singurul din univers. Dar, în 1992, a apărut prima observație confirmată privind o planetă orbitând o altă stea decât Soarele. Știm acum că sunt sute de asemenea planete, și puțini se îndoiesc că există nenumărate altele printre miliardele de stele din univers. Astfel, coincidențele condițiilor noastre planetare – un singur soare, combinația fericită dintre distanța Pământ–Soare și masa solară – nu mai sunt ieșite din comun și par dovezi mai puțin convingătoare că Pământul a fost anume proiectat spre a fi pe plac oamenilor. Există tot felul de planete. Unele – sau cel puțin una – permit viața. Evident, atunci când ființele de pe o planetă care permite viața examinează lumea din jurul lor, vor constata că mediul lor satisface condițiile necesare pentru ca ele să existe.

Putem transforma ultima afirmație într-un principiu științific: propria noastră existență impune reguli care determină din ce loc și din ce moment avem posibilitatea

---

lucrurile altuia erau în cealaltă extremă (prea reci, prea mici etc.), iar lucrurile celui de-al treilea erau tocmai bune. (N. t.)

să observăm universul. Altfel spus, existența noastră restricționează caracteristicile aceluia tip de mediu în care ne aflăm. Acesta se numește principiul antropic slab. (Vom vedea în curând de ce i-am atașat adjectivul „slab“.) Un termen mai bun decât „principiu antropic“ ar fi „principiu de selecție“, fiindcă el se referă la felul în care faptul de a avea cunoștință de propria noastră existență impune reguli care selectează din toate mediile posibile doar pe acelea cu caracteristici ce permit viața.

Deși pare să țină mai curând de filozofie, principiul antropic slab poate fi folosit pentru predicții științifice. De exemplu, cât de bătrân e universul? După cum vom vedea în curând, pentru ca noi să existăm, universul trebuie să conțină elemente precum carbon, care sunt produse „gătind“ elementele ușoare din interiorul stelelor. Carbonul trebuie apoi împrăștiat în spațiu prin explozia unei supernove, iar în cele din urmă trebuie să fie condensat ca parte a unei planete aparținând unui sistem solar dintr-o nouă generație. În 1961, fizicianul Robert Dicke a susținut că procesul durează aproximativ zece miliarde de ani, deci existența noastră stabilește faptul că universul trebuie să fie cel puțin atât de vechi. Pe de altă parte, universul nu poate fi mult mai bătrân de zece miliarde de ani, fiindcă într-un viitor îndepărtat tot combustibilul din stele se va fi consumat, iar subzistența noastră cere stele fierbinți. Prin urmare, universul trebuie să aibă în jur de zece miliarde de ani. Aceasta nu e o predicție foarte precisă, dar e adevărată – conform datelor actuale, big bang-ul a avut loc acum circa 13,7 miliarde de ani.

La fel ca în cazul vârstei universului, predicțiile antropice dau de regulă limite, ordine de mărime ale unor parametri fizici, nu stabilesc valorile lor exacte. Aceasta pentru

că existența noastră, deși nu pretinde probabil anumite valori precise ale unor parametri fizici, depinde adesea de condiția ca asemenea parametri să nu se abată prea mult de la valoarea pe care le-o găsim în realitate. În plus, ne așteptăm ca acele condiții întâlnite în lumea noastră să fie tipice în domeniul permis de principiul antropic. De pildă, dacă doar excentricitățile orbitale mici, să zicem între 0 și 0,5, permit viața, atunci o excentricitate de 0,1 n-ar trebui să ne mire, fiindcă printre planetele din univers un procentaj semnificativ au probabil excentricități orbitale atât de mici. Dar dacă s-ar fi dovedit că Pământul se mișcă pe un cerc aproape perfect, cu o excentricitate, să zicem, de 0,00000000001, aceasta ar fi făcut din Pământ o planetă cu totul aparte și ne-ar fi îndemnat să încercăm să explicăm de ce trăim într-un loc atât de ieșit din comun. Această idee e numită uneori principiul mediocrității.

Coincidențele fericite legate de forma orbitelor planetare, de masa Soarelui etc. se spune că țin de „mediu” pentru că ele apar dintr-o șansă fericită pe care ne-o oferă mediul nostru, și nu dintr-o potrivire norocoasă în legile fundamentale ale naturii. Vârsta universului este de asemenea un factor de mediu, deoarece în istoria universului există momente anterioare și momente ulterioare, dar noi trebuie să trăim în această epocă, fiindcă ea e singura care permite viața. Coincidențele care țin de mediu sunt ușor de înțeles, pentru că habitatul nostru e doar unul dintre nenumăratele altele care există în univers, și este evident că noi trebuie să trăim într-un habitat care permite viața.

Principiul antropic slab nu e foarte controversat. Există însă o formă mai puternică pentru care vom pleda acum, deși ea e privită cu neîncredere de unii fizicieni. Principiul antropic tare susține că faptul că noi existăm impune

constrângeri nu doar asupra *mediului*, dar chiar și asupra *formeii și conținutului posibile ale legilor naturii*. Ideea a apărut fiindcă nu numai caracteristicile particulare ale sistemului nostru solar, dar și caracteristicile întregului univers par să favorizeze în mod straniu dezvoltarea vieții umane, iar acest lucru e mult mai greu de explicat.

Povestea evoluției universului primordial, alcătuit din hidrogen, heliu și puțin litiu, către un univers în care există cel puțin o lume cu viață inteligentă ca a noastră e una cu multe capitole. După cum am arătat mai sus, forțele din natură trebuiau să fie astfel încât elementele mai grele – în special carbonul – să poată fi produse din elementele primordiale și să rămână stabile timp de cel puțin miliarde de ani. Acele elemente grele au apărut în furnalele pe care le numim stele, astfel că forțele trebuiau mai întâi să permită formarea stelelor și galaxiilor. Acestea au crescut din semințele micilor neomogenități din universul timpuriu, care era aproape perfect uniform, dar, din fericire, conținea variații de densitate de aproximativ 1 la 100 000. Existența stelelor și existența în interiorul stelelor a elementelor din care suntem alcătuiți nu sunt însă suficiente. Dinamica stelelor trebuia să permită unora dintre ele să explodeze în cele din urmă și, mai mult, să explodeze exact într-un fel în care elementele grele să fie împrăștiate în spațiu. În plus, legile naturii trebuiau să dicteze ca acele resturi să se poată recondenșa într-o nouă generație de stele înconjurate de planete ce încorporaseră elementele grele nou formate. După cum anumite evenimente au trebuit să se petreacă la începuturile Pământului pentru ca noi să putem apărea, la fel și fiecare verigă a acestui lanț a fost necesară pentru existența noastră. Dar, în cazul evenimentelor ce au avut ca rezultat evoluția universului, asemenea evoluții au fost guvernate de echili-

brul dintre forțele fundamentale ale naturii, iar efectul lor combinat a fost tocmai acela care ne-a permis să existăm.

Unul dintre primii care au recunoscut că aceasta ar putea implica un grad înalt de șansă a fost Fred Hoyle în anii '50. Hoyle credea că toate elementele chimice s-au format la început din hidrogen, pe care îl considera substanța cu adevărat primordială. Hidrogenul are cel mai simplu nucleu atomic, alcătuit dintr-un proton, fie singur, fie în combinație cu unul sau doi neutroni. (Diferitele forme de hidrogen, sau de orice alt nucleu, având același număr de protoni, dar număr diferit de neutroni, se numesc izotopi.) Astăzi știm că heliul și litiul, atomi ale căror nuclee conțin doi și respectiv trei protoni, au fost de asemenea primordial sintetizați, în cantități mai mici, pe când universul avea o vârstă de numai 200 de secunde. Viața însă depinde de elemente mai complexe. Carbonul, baza întregii chimii organice, este cel mai important dintre acestea.

Deși ne putem imagina organisme „vii”, cum sunt calculatoarele inteligente, construite din alte elemente, de pildă siliciul, este greu de crezut că viața ar fi putut evolua *spontan* în absența carbonului. Motivele sunt de ordin tehnic, dar țin de felul unic în care se leagă carbonul de alte elemente. Dioxidul de carbon, de exemplu, este gazos la temperatura camerei, iar biologia se folosește din plin de el. Deoarece siliciul se află imediat sub carbon în tabelul periodic al elementelor, el are proprietăți chimice asemănătoare. Numai că dioxidul de siliciu, cuarțul, este mult mai folositor într-o colecție de minerale decât în plămânii unei ființe. Poate că totuși ar putea evolua forme de viață care se ospătează cu siliciu și-și rotesc ritmic cozile într-o piscină cu amoniac lichid. Dar nici măcar asemenea tipuri exotice de viață nu pot evolua doar din elementele primordiale,



fiindcă aceste elemente pot forma numai doi compuși stabili, hidrura de litiu, care e un solid cristalin incolor, și hidrogenul gazos, compuși care e puțin probabil să se reproducă sau măcar să se îndrăgostească. Apoi, este limpede că *noi* suntem o formă de viață bazată pe carbon, iar aceasta conduce la întrebarea cum au fost create carbonul, al cărui nucleu conține șase protoni, și celelalte elemente grele din corpul nostru.

Prima etapă se desfășoară atunci când stelele bătrâne încep să acumuleze heliu, care e produs când două nuclee de hidrogen se ciocnesc și fuzionează. Fuziunea este pentru stele modalitatea de a crea energia care ne încălzește. Doi atomi de heliu pot, la rândul lor, să se ciocnească și să fuzioneze formând beriliul, un atom al cărui nucleu conține patru protoni. Odată format beriliul, el poate în principiu fuziona cu un al treilea nucleu de heliu pentru a forma carbonul. Aceasta nu se întâmplă însă, fiindcă izotopul de beriliu astfel format se dezintegrează aproape imediat în nuclee de heliu.

Situația se schimbă când unei stele i se termină hidrogenul. Atunci, miezul stelei colapsează până când temperatura din centrul ei ajunge la aproximativ 100 milioane de grade Kelvin. În asemenea condiții, nucleele se întâlnesc unele cu altele atât de des, încât unele nuclee de beriliu se ciocnesc cu nuclee de heliu înainte de a se dezintegra. Beriliul poate astfel să fuzioneze cu heliul și să formeze un izotop de carbon, care e stabil. Dar de la carbonul astfel format mai e cale lungă până la apariția ansamblurilor ordonate de compuși chimici de genul celor care pot savura un pahar de Bordeaux, jonglează uimitor cu mingea sau își pun întrebări despre univers. Pentru ca ființe asemenea oamenilor să existe, carbonul trebuie să se mute din interiorul stelelor

către regiuni mai prietenoase. Lucrul acesta se întâmplă, după cum spuneam, atunci când steaua, aflată la capătul ciclului ei de viață, explodează ca o supernovă, eliberând carbonul și alte elemente grele, ce se condensează apoi într-o planetă.

Acest proces de creare a carbonului se numește proces alfa triplu, deoarece „particula alfa“ este un alt nume pentru nucleul izotopului de heliu implicat și pentru că procesul cere ca trei asemenea nuclee să fuzioneze. Fizica obișnuită prezice că rata de producere a carbonului prin procesul alfa triplu trebuie să fie foarte mică. Știind acest lucru, în 1952 Hoyle a prezis că suma energiilor unui nucleu de beriliu și unui nucleu de heliu trebuie să fie aproape exact egală cu energia unei anumite stări cuantice a izotopului de carbon format, o situație numită rezonanță, a cărei existență ar crește foarte mult rata unei reacții nucleare. Pe atunci nu se cunoștea nici un asemenea nivel de energie, dar, bazându-se pe ideile lui Hoyle, William Fowler de la Caltech l-a căutat și l-a găsit, oferind astfel un sprijin important perspectivei lui Hoyle privind formarea nucleelor complexe.

„Nu cred că vreun om de știință care a examinat dovezile nu va trage concluzia că legile fizicii nucleare au fost anume proiectate având în vedere consecințele lor în interiorul stelelor“, spunea Hoyle. La momentul acela nimeni nu știa destulă fizică nucleară pentru a înțelege dimensiunile șansei ce rezultă din aceste legi fizice exacte. Cercetând validitatea principiului antropic tare, în ultimii ani fizicienii au început să se întrebe cum ar fi arătat universul dacă legile naturii ar fi fost diferite. Astăzi putem crea modele pe calculator care să ne spună cum depinde rata reacției alfa triple de tăria forțelor fundamentale din natură. Asemenea calcule arată că o modificare de 0,5% a forței nucleare tari, sau

de 4% a forței electrice, ar distruge aproape tot carbonul sau aproape tot oxigenul din fiecare stea, iar astfel ar compromite posibilitatea vieții așa cum o cunoaștem. Dacă legile universului sunt ușor schimbate, condițiile existenței noastre dispar!

Examinând modelele de universuri pe care le generăm când modificăm în anumite feluri teoriile fizice, putem studia sistematic consecințele schimbării legilor fizicii. Se dovedește că nu numai tăriile forței nucleare tari și a celei electromagnetice ne guvernează existența. Majoritatea constantelor fundamentale din teoriile noastre par fin reglate, în sensul că, dacă ar fi doar puțin modificate, universul ar fi diferit din punct de vedere calitativ, iar în multe cazuri neprielnic dezvoltării vieții. Dacă, de pildă, cealaltă forță nucleară, forța slabă, ar fi fost mult mai slabă, în universul timpuriu tot hidrogenul s-ar fi transformat în heliu, deci n-ar mai fi apărut stele normale; dacă ar fi fost mult mai tare, în exploziile supernovelor n-ar mai fi fost expulzat învelișul exterior, deci spațiul interstelar n-ar mai fi fost însămânțat cu elementele grele necesare pentru ca viața să se dezvolte pe planete. Dacă protonii ar fi cu 0,2% mai grei, ei s-ar dezintegra în neutroni, destabilizând atomii. Dacă suma maselor tipurilor de cuarci care alcătuiesc protonul s-ar modifica cu doar 10%, ar exista mult mai puține nuclee atomice stabile din care să putem fi constituiți; de fapt, suma maselor cuarcilor pare în linii mari optimizată pentru a exista un număr cât mai mare de nuclee stabile.

Dacă presupunem că o planetă trebuie să se afle timp de câteva sute de milioane de ani pe o orbită stabilă pentru ca viața să evolueze pe ea, numărul dimensiunilor spațiale este de asemenea fixat de existența noastră. Aceasta deoarece, conform legilor gravitației, orbite eliptice stabile sunt

posibile doar în spațiul cu trei dimensiuni. Orbite circulare sunt posibile și în alte dimensiuni, dar acelea, așa cum se temea Newton, sunt instabile. În oricare alt număr de dimensiuni spațiale decât trei, chiar și cea mai mică perturbare, cum ar fi atracția altor planete, poate scoate planeta de pe orbita ei circulară, făcând-o să se prăbușească în spirală spre Soare sau să se îndepărteze, așa încât fie am arde, fie am îngheța. De asemenea, în mai mult de trei dimensiuni, forța gravitațională dintre două corpuri ar scădea mai rapid decât în trei dimensiuni. În trei dimensiuni, forța gravitațională scade la  $1/4$  din valoarea ei dacă distanța se dublează. În patru dimensiuni ea scade la  $1/8$ , în cinci dimensiuni la  $1/16$  și așa mai departe. Rezultă că, în mai mult de trei dimensiuni, Soarele n-ar mai putea exista în stare stabilă, așa încât presiunea internă să echilibreze atracția gravitațională. El fie s-ar dezintegra, fie ar colapsa formând o gaură neagră, ambele situații fiindu-ne fatale. La scară atomică, forțele electrice s-ar comporta la fel ca forțele gravitaționale. Asta înseamnă că electronii din atom fie ar zbura afară, fie s-ar prăbuși în spirală spre nucleu. În ambele cazuri, atomii așa cum îi cunoaștem noi n-ar putea exista.

Apariția structurilor complexe pe care se bazează observatorii dotați cu inteligență pare să fie extrem de fragilă. Legile naturii formează un sistem extrem de fin reglat, și nu se poate modifica aproape nimic în legile fizicii fără să se distrugă posibilitatea dezvoltării vieții așa cum o cunoaștem. Fără seria de coincidențe uimitoare în detaliile precise ale legilor fizice, se pare că oamenii și formele de viață asemănătoare n-ar fi putut niciodată apărea.

Cea mai impresionantă coincidență în reglajul fin se leagă de așa-numita constantă cosmologică din ecuațiile

relativității generale ale lui Einstein. După cum am spus, în 1915, când și-a formulat teoria, Einstein credea că universul e static, adică nu se contractă și nu se dilată. Deoarece orice materie atrage altă materie, el a introdus în teorie o nouă forță antigravitațională pentru a compensa tendința universului de a se prăbuși în sine însuși. Spre deosebire de alte forțe, această forță nu are o sursă, ci e intrinsecă structurii spațiului-timp. Constanta cosmologică ne spune care e tăria acelei forțe.

Când s-a descoperit că universul nu e static, Einstein a eliminat constanta cosmologică din teoria sa și a considerat includerea ei drept cea mai mare gafă din viața lui. Dar, în 1998, observațiile asupra unei supernove extrem de îndepărtate au arătat că universul se dilată accelerat, un efect imposibil fără un anume tip de forță repulsivă acționând în întreg spațiul. Constanta cosmologică a renăscut. Deoarece acum știm că valoarea ei nu este zero, se pune întrebarea de ce are valoarea pe care o are? Fizicienii au conceput explicații pentru această forță pe baza efectelor cuantice, dar valoarea calculată de ei este cu 120 de ordine de mărime (un 1 urmat de 120 de zerouri) mai mare decât valoarea reală, obținută din observațiile asupra supernovei. Asta înseamnă fie că raționamentul folosit în calcule a fost greșit, fie că există și alte efecte care anulează în mod miraculos aproape total, până la o fracțiune minuscule, numerele calculate. Singurul lucru cert este că, dacă valoarea constantei cosmologice ar fi fost mai mare decât este, universul nostru ar fi explodat înainte ca galaxiile să fi apărut, și – încă o dată – viața așa cum o știm ar fi fost imposibilă.

Cum putem explica aceste coincidențe? Norocul în privința formei precise și a naturii legilor fundamentale ale fizicii este o variantă cu totul diferită de noroc decât acela

întâlnit la factorii de mediu. El nu poate fi explicat atât de simplu și are consecințe fizice și filozofice mult mai profunde. Universul nostru și legile lui par să aibă în spate un plan anume întocmit pentru a ne permite existența și a lăsa foarte puțin spațiu pentru modificări. Se pune deci în mod firesc întrebarea de ce lucrurile stau așa.

Mulți ar vrea ca noi să folosim aceste coincidențe ca dovezi ale lucrării lui Dumnezeu. Ideea că universul a fost anume proiectat pentru a găzdui omenirea apare de mii de ani și până în zilele noastre în teologii și mitologii. În povestirile mitico-istorice mayașe din *Popol Vuh*, zeii declară: „Nu ne vom bucura nici de slavă, nici de mărire din partea tuturor celor pe care le-am creat și alcătuit până când nu vor exista oameni înzestrați cu simțire.” Un text egiptean tipic datând de pe la 2000 î.Cr. spune: „Oamenii, turma Zeului, au fost dăruiti cu tot ce le trebuie. El [zeul soare] a făcut cerul și pământul spre folosul lor.” În China, filozoful taoist Lieh Yü-K'ou (cca 400 î.Cr.) a exprimat aceeași idee prin personajul unei povestiri, care spune: „Cerul face să crească cinci feluri de grâne și zămislește neamurile peștilor și păsărilor anume spre folosul nostru.”

În Cartea Facerii din Vechiul Testament se află ideea unui plan providențial, dar perspectiva creștină tradițională a fost de asemenea puternic influențată de Aristotel, care credea „într-o lume naturală rațională care funcționează după un plan anume alcătuit”. Teologul creștin medieval Toma de Aquino a folosit ideea lui Aristotel privind ordinea din natură pentru a demonstra existența lui Dumnezeu. În secolul XVIII, un alt teolog creștin a mers și mai departe, susținând că șobolanii au coada albă ca să ne fie mai ușor să-i împușcăm. O ilustrare modernă a perspectivei creștine a apărut cu câțiva ani în urmă, când cardinalul

Christoph Schönborn, arhiepiscop al Vienei, a spus: „Acum, la începutul secolului XXI, confruntată cu afirmații științifice precum neodarwinismul și ipoteza cosmologică a multiversului [mai multe universuri], inventate spre a ocoli copleșitoarele dovezi ale științei moderne privind un scop și un plan, Biserica Catolică va apăra încă o dată natura umană proclamând că planul imanent din natură este real.“ În cosmologie, dovada copleșitoare privind un scop și un plan la care se referă cardinalul este reglajul fin al legilor fizicii prezentat mai sus.

Punctul de cotitură în respingerea științifică a ideii de univers centrat pe om a fost modelul copernican al sistemului solar, în care Pământul nu mai ocupă poziția centrală. Ironia sortii face ca perspectiva lui Copernic să fi fost una antropomorfică, el mergând până acolo încât să ne consoleze subliniind că, în ciuda modelului heliocentric, Pământul se află *aproape* în centrul universului: „Deși [Pământul] nu este chiar în centru lumii, distanța [până la acel centru] este neglijabilă față de distanța până la stelele fixe.“ Odată cu inventarea telescopului, observațiile din secolul XVII, precum aceea că planeta noastră nu e singura în jurul căreia se rotește o lună, au întărit ideea că nu ocupăm un loc privilegiat în univers. În secolele următoare, pe măsură ce se înmulțeau descoperirile despre univers, devenea tot mai limpede că planeta noastră nu e decât una ca oricare alta. Dar descoperirea relativ recentă a reglajului extrem de fin a atât de multe legi ale naturii i-a condus pe unii dintre noi înapoi la vechea idee că acest mare plan este opera unui mare proiectant. În Statele Unite, unde Constituția interzice predarea religiei în școli, acest gen de idei a fost botezat proiectul inteligent, subînțelegându-se de aici că proiectantul este Dumnezeu.

Nu acesta e răspunsul științei moderne. Am văzut în capitolul 5 că universul nostru pare a fi doar unul dintre multe altele, fiecare cu legile lui. Ideea de multivers n-a fost inventată pentru a explica miracolul reglajului fin. Ea este o consecință a condiției fără frontiere, precum și a multe alte teorii cosmologice moderne. Dar, dacă este corectă, atunci principiul antropic tare poate fi considerat efectiv echivalent cu cel slab, punând reglajul fin al legilor fizicii pe picior de egalitate cu factorii de mediu, căci el presupune că habitatul nostru cosmic – acum întreg universul observabil – este unul dintre multe altele, la fel cum sistemul nostru solar este unul dintre multe altele. Aceasta înseamnă că, așa cum coincidențele din sistemul nostru solar au devenit mai puțin surprinzătoare când s-a văzut că există miliarde de asemenea sisteme, tot astfel reglajul fin din legile naturii poate fi explicat prin existența universurilor multiple. De-a lungul veacurilor mulți oameni au pus pe seama lui Dumnezeu frumusețea și complexitatea naturii, care în vremurile acelea păreau să nu aibă explicații științifice. Dar, la fel cum Darwin și Wallace au arătat că planul aparent miraculos al formelor de viață se poate ivi fără intervenția unei ființe supreme, noțiunea de multivers poate explica reglajul fin al legilor fizicii fără să fie nevoie ca un creator binevoitor să fi făurit universul spre folosul nostru.

Einstein l-a întrebat odată pe asistentului său Ernst Strauss dacă Dumnezeu a avut de ales când a creat universul. Spre sfârșitul secolului XVI, Kepler era convins că Dumnezeu a creat universul după un principiu matematic perfect. Newton a arătat că aceleași legi care se aplică în cer se aplică și pe Pământ, și a elaborat ecuațiile matematice care să exprime acele legi într-o formă atât de elegantă, încât



ele au insuflat o fervoare aproape religioasă printre numeroși savanți din secolul XVIII, care păreau să se sprijine pe ele pentru a demonstra că Dumnezeu este matematician.

De la Newton și mai ales de la Einstein încoace, scopul fizicii a fost să găsească principii matematice simple, de genul celor imaginate de Kepler, și să creeze cu ele o teorie unificată a tot ce există, care să explice fiecare detaliu al materiei și al forțelor pe care le observăm în natură. Pe la sfârșitul secolului XIX și începutul secolului XX, Maxwell și Einstein au unificat teoriile electricității, magnetismului și luminii. În anii '70 a fost creat modelul standard, o teorie unică pentru forțele nucleare tare și slabă și pentru forța electromagnetică. Teoria corzilor și teoria M au apărut din încercarea de a include și forța rămasă pe dinafară, gravitația. Scopul era acela de a găsi o singură teorie care să explice nu numai toate forțele, dar și toate numerele fundamentale despre care am vorbit, cum sunt tăria forțelor și masele și sarcinile particulelor elementare. După cum spunea Einstein, exista speranța să putem afirma că „natura e alcătuită așa încât să fie logic posibil să formulezi legi atât de strict determinate, încât în cadrul acestor legi să apară numai constante perfect determinate rațional (nu constante a căror valoare numerică să poată fi modificată fără a distruge teoria)“. Este puțin probabil ca o teorie unică să conțină acel reglaj fin care ne permite să existăm. Însă dacă, în lumina progreselor recente, considerăm că visul lui Einstein este acela al unei teorii unice care să explice universul acesta și celelalte universuri, cu întregul lor spectru de legi diferite, atunci acea teorie ar putea fi teoria M. Dar este oare teoria M unică ori e impusă de vreun principiu logic simplu? Putem oare răspunde la întrebarea *de ce teoria M?*

## Marele plan

Am arătat în această carte că regularitățile din mișcările corpurilor astronomice precum Soarele, Luna și planetele sugerează faptul că acestea sunt guvernate de legi neschimbătoare și nu sunt supuse capriciilor arbitrare ale zeilor și demonilor. La început, existența unor asemenea legi a fost evidentă doar în astronomie (sau astrologie, care era considerată cam același lucru). Comportarea lucrurilor de Pământ este atât de complicată și e supusă atâtor influențe, încât vechile civilizații n-au putut discerne regularități sau legi clare care guvernează aceste fenomene. Treptat însă au fost descoperite noi legi și în alte domenii decât astronomia, iar aceasta a condus la ideea de determinism științific: trebuie să existe un set complet de legi care, dacă cunoaștem starea universului la un moment dat, ne spun cum va evolua universul din acel moment. Aceste legi trebuie să fie valabile pretutindeni și mereu, altminteri n-ar mai fi legi. Nu pot exista excepții sau miracole. Zeii și demonii nu pot interveni în funcționarea universului.

În momentul când a apărut determinismul științific, legile newtoniene ale mișcării și gravitației erau singurele legi cunoscute. Am arătat cum a extins Einstein aceste legi în teoria relativității generale și cum au fost

descoperite alte legi care guvernează alte aspecte ale universului.

Legile naturii ne spun *cum* se comportă universul, dar nu răspund la întrebările *de ce*, puse la începutul acestei cărți:

*De ce există ceva mai degrabă decât nimic?*

*De ce existăm?*

*De ce acest set particular de legi, și nu altele?*

Unii vor afirma că răspunsul la aceste întrebări este că există un Dumnezeu care a ales să creeze universul în acest fel. E rezonabil să ne întrebăm cine sau ce a creat universul, dar, dacă răspunsul e Dumnezeu, atunci întrebarea nu face decât să trimită la o alta: cine l-a creat pe Dumnezeu? Din această perspectivă, se acceptă existența unei entități care nu necesită un creator, entitate numită Dumnezeu. Acesta e cunoscut ca argumentul cauzei prime pentru existența lui Dumnezeu. Noi credem totuși că se poate răspunde la aceste întrebări rămânând în domeniul științei, fără să invocăm vreo ființă divină.

Conform ideii de realism dependent de model prezentată în capitolul 3, creierul nostru interpretează input-ul provenind de la organele de simț alcătuind un model al lumii exterioare. Ne făurim concepte mentale despre căminul nostru, despre copaci, despre alți oameni, despre electricitatea care curge din prize, despre atomi, molecule și alte universuri. Aceste concepte mentale sunt singura realitate pe care o cunoaștem. Nu există un test al realității independent de model. Rezultă de aici că un model bine construit își creează propria sa realitate. Un exemplu care ne poate ajuta să înțelegem problema realității și creației este Jocul

Vieții [Game of Life], inventat în 1970 de un tânăr matematician de la Cambridge pe nume John Conway.

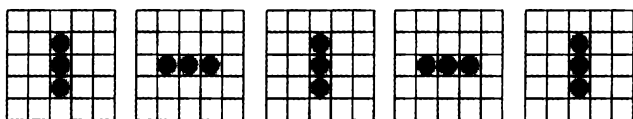
Cuvântul „joc“ din Jocul Vieții ne induce în eroare. Nu există învingători și învinși; de fapt, nu există jucători. Jocul Vieții nu este cu adevărat un joc, ci un set de legi care guvernează un univers bidimensional. E un univers determinist: odată ce i-ai stabilit o configurație de început sau condițiile inițiale, legile determină tot ce se întâmplă în viitor.

Lumea imaginată de Conway este o rețea de pătrățele, ca o tablă de șah, dar extinsă la infinit în toate direcțiile. Fiecare pătrățel se poate afla în două stări: viu (gri în figura de la pagina 146) sau mort (alb). Fiecare pătrățel are opt vecini: sus, jos, stânga, dreapta și patru vecini pe diagonală. În această lume timpul nu e continuu, ci înaintează în pași discontinui. Pornind de la un aranjament oarecare al pătrățelilor vii și moarte, numărul vecinilor vii determină ce se va întâmpla mai departe conform următoarelor reguli:

1. Un pătrățel viu care are doi sau trei vecini vii va supraviețui (supraviețuire).
2. Un pătrățel mort care are exact trei vecini vii devine o celulă vie (naștere).
3. În toate celelalte cazuri o celulă moare sau rămâne moartă. Dacă un pătrățel viu nu are nici un vecin viu sau are unul singur, spunem că moare de singurătate; dacă are mai mult de trei vecini vii, spunem că moare din cauza suprapopulării.

Asta e tot: date fiind orice condiții inițiale, legile produc generație după generație. Un pătrățel viu izolat sau două pătrățele vii adiacente mor în următoarea generație, fiindcă nu au destui vecini. Trei pătrățele vii dispuse pe diagonală

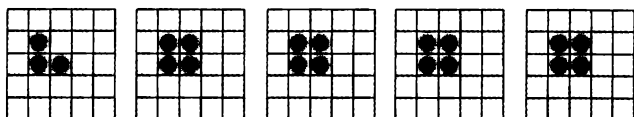
trăiesc ceva mai mult. După primul pas, pătrățelele de la capăt mor, lăsând doar pătrățul din mijloc, care va muri în următoarea generație. Fiecare linie diagonală de pătrățele „se evaporă” în acest fel. Dar dacă trei pătrățele vii sunt dispuse orizontal pe o linie, din nou centrul are doi vecini și va supraviețui, pe când cele două capete vor muri, însă, în acest caz, celulele aflate deasupra și sub centru devin vii. Linia se va transforma deci în coloană. În mod asemănător, la următoarea generație coloana se va transforma în linie și așa mai departe. Asemenea configurații oscilante se numesc „semnalizator pulsant” (de genul felinarelor folosite la transmiterea semnalelor Morse).



**SEMNALIZATOR PULSANT** Semnalizatoarele pulsante sunt tipuri simple de obiecte compuse din Jocul Vieții.

Dacă trei pătrățele vii sunt așezate în formă de L, apare un nou comportament. În următoarea generație, pătrățul adiacent laturilor L-ului va duce la o naștere, formând un bloc  $2 \times 2$ . Blocul aparține unui tip de figură numit „natură moartă”, deoarece ea trece nemodificată din generație în generație. Există multe tipuri de figuri care se schimbă în primele generații, dar apoi se transformă într-o natură moartă, mor sau revin la forma inițială, pentru ca procesul să se reia.

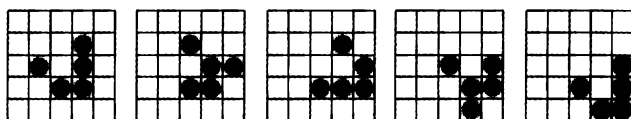
Există de asemenea figuri numite „planoare”, care se modifică în alte forme și, după câteva generații, revin la forma inițială, dar într-o poziție cu un pătrățul mai jos



**EVOLUȚIA SPRE NATURĂ MOARTĂ** Unele obiecte compuse din Jocul Vieții evoluează către o formă pe care regulile n-o mai schimbă apoi.

de-a lungul diagonalei. Dacă le urmărești în timp, ele par să se târască prin rețea. Atunci când aceste planoare se ciocnesc, apar comportamente stranii, depinzând de forma fiecărui planor în momentul ciocnirii.

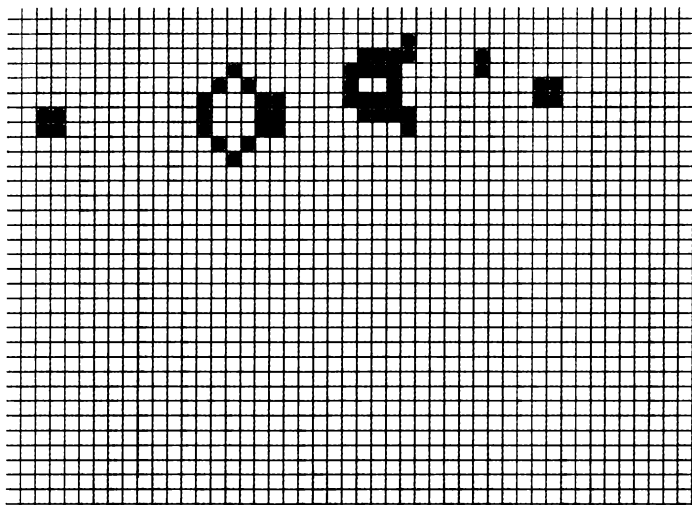
Ce face ca acest univers să fie interesant este faptul că deși „fizica” lui fundamentală e simplă, „chimia” sa poate fi complicată. Obiectele compuse există la diferite scări. La cea mai mică scară, fizica fundamentală ne spune că există doar pătrățele vii sau moarte. La scări mai mari, există planoare, semnalizatoare pulsante și nat-uri moarte.



**PLANOARE** Planoarele trec prin aceste forme intermediare, apoi revin la forma inițială, deplasată cu un pătrățel de-a lungul diagonalei.

La scări încă și mai mari, există obiecte încă mai complicate, de exemplu, lansatoare de planoare: figuri staționare care dau periodic naștere unor noi planoare ce-și părăsesc cuibul și se îndreaptă în jos, pe diagonală.

Dacă urmărești un timp universul Jocului Vieții la o scară anume, poți deduce legile ce guvernează obiectele la

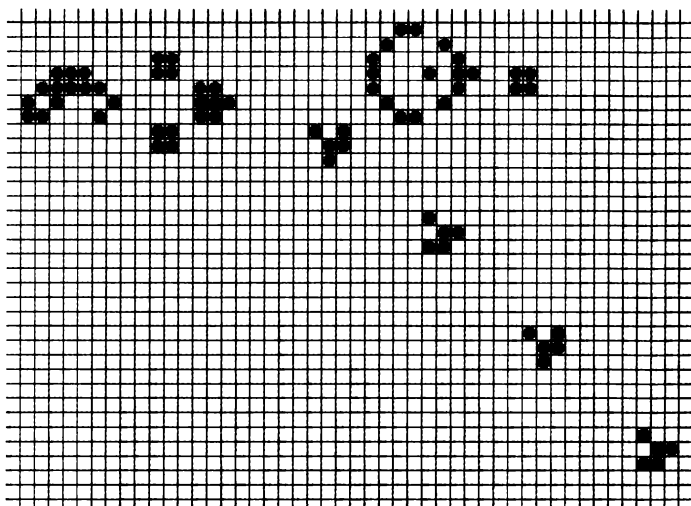


### CONFIGURAȚIA ÎNȚIALĂ A LANSATORULUI DE PLANOARE

Lansatorul de planoare este de aproximativ zece ori mai mare decât un planor.

acea scară. De pildă, la scara obiectelor de doar câteva pătrățele poți avea o lege de tipul „blocurile nu se mișcă deloc”, „planoarele se mișcă pe diagonală” și diferite legi pentru cazul în care obiectele se ciocnesc. Poți crea o întreagă fizică la orice nivel al obiectelor compuse. Legile vor scoate la iveală entități și noțiuni care nu se găseau printre legile inițiale. De pildă, noțiuni precum „ciocnire” sau „deplasare” nu existau în legile inițiale. Acestea din urmă descriu doar viața și moartea pătrățelelor staționare individuale. La fel ca în universul nostru, în Jocul Vieții depinzi într-adevăr de modelul pe care îl folosești.

Conway și studenții săi au creat această lume pentru că voiau să știe dacă un univers cu legi fundamentale atât de simple ca acelea pe care le-au definit poate conține



LANSATORUL DE PLANOARE DUPĂ 116 GENERAȚII Cu timpul, lansatorul de planoare își schimbă forma, emite un planor, apoi revine la forma și poziția inițială. Procesul se repetă la infinit.

obiecte suficient de complexe încât să se reproducă. Există oare în lumea Jocului Vieții obiecte compuse care, după ce urmează legile acelei lumi timp de câteva generații, vor da naștere altora de felul lor? Nu numai că John Conway și studenții săi au demonstrat că așa ceva e posibil, dar ei au arătat și că asemenea obiecte pot fi, într-un anume sens, inteligente! Ce înțelegem prin asta? Concret, ei au arătat că niște conglomerate uriașe de pătrățele, care se autoreproduc, sunt „mașini Turing universale“. Simplu spus, asta înseamnă că, pentru orice calcul pe care un computer din lumea noastră fizică poate în principiu să-l efectueze, dacă mașinii i se dă input-ul potrivit – adică, i se oferă mediul adecvat din Jocului Vieții – după câteva generații, mașina se va afla într-o stare din care poate fi



citit un output care să corespundă rezultatului calculului efectuat de computer.

Pentru a ne face o idee despre felul în care funcționează așa ceva, să considerăm ce se întâmplă atunci când niște planoare sunt emise spre un bloc simplu  $2 \times 2$  de pătrățele vii. Dacă planorul se apropie într-un anumit fel, blocul, care era staționar, se va deplasa către sau dinspre sursa de planoare. Astfel, blocul poate simula o memorie de computer. De fapt, toate funcțiile elementare ale unui computer modern, ca porțile AND și OR, pot fi create și din planoare. În acest mod, la fel cum semnalele electrice sunt folosite într-un computer fizic, fluxurile de planoare pot fi folosite pentru a transmite și procesa informația.

În Jocul Vieții, ca și în lumea noastră, figurile care se autoreproduc sunt obiecte complexe. O estimare bazată pe studii mai vechi ale matematicianului John von Neumann spune că dimensiunea minimă a unei figuri autoreproducătoare din Jocul Vieții este de ordinul a zece bilioane de pătrățele – aproximativ numărul de molecule dintr-o celulă umană.

Ființele vii pot fi definite ca sisteme complexe de dimensiuni limitate și care se autoreproduc. Obiectele descrise mai sus satisfac condiția de reproducere, dar probabil că nu sunt stabile: o mică perturbație din exterior va distruge probabil delicatul mecanism. Și totuși, e ușor de imaginat că legi puțin mai complicate ar permite existența sistemelor complexe având toate atributele vieții. Închipuiți-vă o asemenea entitate, un obiect dintr-o lume de tip Conway. Ea ar răspunde stimulilor din mediul extern, deci ar părea că ia decizii. Cum s-ar privi oare o asemenea formă de viață pe ea însăși? Ar fi conștientă? Răspunsurile la această întrebare sunt tranșant împărțite. Unii consideră conștiința

de sine drept o trăsătură exclusiv umană. Ea îi înzestrează pe oameni cu liberul-arbitru, capacitatea de a alege între diferite cursuri ale acțiunii.

Cum putem spune dacă o ființă are liber-arbitru? Dacă ne întâlnim cu un extraterestru, cum putem ști dacă este numai un robot sau are o minte proprie? Comportamentul unui robot va fi complet determinat, spre deosebire de al unei ființe dotate cu liber-arbitru. Am putea deci în principiu identifica un robot pe baza faptului că acțiunile lui pot fi prevăzute. După cum am spus în capitolul 2, acest lucru ar fi extrem de greu dacă am avea de-a face cu o ființă mare și complexă. Nu putem rezolva exact nici măcar ecuațiile pentru trei sau mai multe particule care interacționează între ele. Deoarece un extraterestru de mărimea unui om ar conține aproximativ o mie de bilioane de bilioane de particule, chiar dacă ar fi un robot, ar fi imposibil să rezolvăm ecuațiile și să prezicem ce va face. Va trebui deci să spunem că orice ființă complexă are liber-arbitru – nu ca trăsătură fundamentală, dar aceasta e o teorie eficientă, recunoașterea incapacității noastre de a efectua calculele care ne-ar permite să-i prezicem acțiunile.

Exemplul cu Jocul Vieții al lui Conway arată că până și un set foarte simplu de legi poate produce trăsături complexe, asemănătoare celor ale vieții inteligente. Trebuie să existe multe seturi de legi cu astfel de proprietăți. Ce anume selectează legile fundamentale (opusul legilor aparente) care guvernează universul? La fel ca în universul lui Conway, legile universului determină evoluția sistemului cunoscându-i starea la orice moment de timp. În lumea lui Conway noi suntem creatorii – noi alegem starea inițială a universului specificând obiectele și pozițiile lor la începutul jocului.

Într-un univers fizic, echivalentul obiectelor de genul planoarele din Jocul Vieții sunt corpurile de materie izolate. În orice set de legi care descriu o lume continuă ca a noastră va exista un concept de energie, care este o mărime ce se conservă, adică nu se modifică în timp. Energia spațiului gol va fi constantă, independentă de timp și de poziție. Putem scădea această energie constantă a vidului măsurând energia oricărui volum de spațiu în raport cu energia aceluiași volum de spațiu gol, așa încât putem considera această constantă zero. O cerință pe care trebuie s-o satisfacă toate legile a naturii este aceea că energia unui corp izolat înconjurat de spațiu gol e pozitivă, ceea ce înseamnă că trebuie efectuat lucru mecanic pentru a asambla acel corp. Dacă energia unui corp izolat ar fi negativă, el ar putea fi creat într-o stare de mișcare, astfel încât energia sa negativă să fie compensată exact de energia pozitivă datorată mișcării sale. Dacă acest lucru ar fi adevărat, atunci n-ar mai exista nici un motiv pentru care corpurile să nu apară oriunde și oricând. Spațiul gol ar fi deci instabil. Dar dacă crearea unui corp izolat consumă energie, o asemenea instabilitate nu poate să apară, fiindcă, după cum am mai spus, energia universului trebuie să rămână constantă. De aceasta e nevoie pentru ca universul să fie local stabil – așa încât lucrurile să nu apară oriunde din nimic.

Dacă energia totală a universului trebuie să rămână întotdeauna zero, iar crearea unui corp consumă energie, cum poate fi creat din nimic un întreg univers? Acesta e motivul pentru care trebuie să existe o lege precum gravitația. Din moment ce gravitația e atractivă, energia gravitațională e negativă: trebuie efectuat lucru mecanic pentru a separa un sistem legat prin gravitație, cum e cel al Pământului și Lunii. Energia negativă poate echilibra energia pozi-

tivă necesară pentru crearea materiei, dar nu e chiar atât de simplu. Energia gravitațională negativă a Pământului, de exemplu, este mai mică decât a miliarda parte din energia pozitivă a particulelor de materie care alcătuiesc Pământul. Un corp cum e o stea va avea mai multă energie gravitațională negativă, iar cu cât corpul e mai mic (cu cât sunt mai apropiate între ele diferitele sale părți componente), cu atât va fi mai mare energia gravitațională negativă. Dar, înainte ca aceasta să ajungă mai mare decât energia pozitivă a materiei, steaua va colapsa devenind o gaură neagră, iar găurile negre au energie pozitivă. De aceea spațiul gol e stabil. Corpuri precum stelele sau găurile negre nu pot apărea din nimic. Dar un întreg univers poate.

Deoarece gravitația dă forma spațiului și timpului, ea permite spațiului-timp să fie local stabil, dar global instabil. La scara întregului univers, energia pozitivă a materiei *poate fi* echilibrată de energia gravitațională negativă, așa încât nu există restricții pentru crearea unor întregi universuri. Pentru că există o lege cum e gravitația, universul poate să se creeze – și se va crea – pe sine însuși din nimic, în modul pe care l-am prezentat în capitolul 6. Crearea spontană e motivul pentru care există ceva mai degrabă decât nimic, motivul pentru care universul există și pentru care noi existăm. Nu e nevoie să apelăm la Dumnezeu să facă lumină și să pună universul în mișcare.

De ce sunt legile fundamentale așa cum le-am prezentat? Teoria finală trebuie să fie coerentă și să prezică rezultate finite pentru mărimile măsurabile. Am văzut că trebuie să existe o lege a gravitației, iar în capitolul 5 am văzut că, pentru ca teoria gravitației să prezică rezultate finite, este necesar ca teoria să aibă ceea ce se numește supersimetrie între forțele din natură și materia asupra

căreia ele acționează. Teoria M este cea mai generală teorie supersimetrică a gravitației. Din această cauză teoria M este *singurul* candidat pentru o teorie completă a universului. Dacă e finită – ceea ce rămâne de demonstrat –, ea va fi modelul unui univers care se creează pe sine însuși. Noi trebuie să facem parte din acest univers, fiindcă nu există un alt model coerent.

Teoria M este teoria unificată pe care Einstein spera s-o găsească. Faptul că noi, oamenii – care suntem noi înșine ansambluri de particule fundamentale din natură –, am putut ajunge atât de aproape de înțelegerea legilor care ne guvernează și care guvernează universul este un mare triumf. Dar poate că adevăratul miracol este acela că niște considerații logice abstracte conduc la o teorie unică ce prezice și descrie un univers vast, având acea uimitoare diversitate pe care o vedem. Dacă teoria va fi confirmă de observații, aceasta va fi încheierea încununată de succes a unor căutări care durează de peste 3000 de ani. Vom fi găsit marele plan.

## Glosar

**ABORDAREA DE JOS ÎN SUS:** în cosmologie, ideea care se bazează pe presupunerea că există o singură istorie a universului, cu un punct de pornire bine definit, iar starea actuală a universului a evoluat de la acel început.

**ABORDAREA DE SUS ÎN JOS:** abordarea cosmologică în care urmăm istoriile universului „de sus în jos“, adică din prezent spre trecut.

**AMPLITUDINE DE PROBABILITATE:** în teoria cuantică, un număr complex a cărui valoare absolută ridicată la pătrat dă o probabilitate.

**ANTIMATERIE:** fiecărei particule de materie îi corespunde o antiparticulă. Dacă cele două se întâlnesc, ele se anihilează reciproc, lăsând în urmă doar energie.

**ATOM:** unitatea elementară de materie obișnuită, constând dintr-un nucleu format din protoni și neutroni în jurul căruia orbitează electroni.

**BARION:** tip de particulă elementară, cum sunt protonul sau neutronul, format din trei cuarci.

**BIG BANG:** începutul dens și fierbinte al universului. Teoria big bang postulează că în urmă cu aproximativ 13,7 miliarde de ani partea de univers pe care o observăm azi avea o dimensiune de numai câțiva milimetri. Astăzi universul este mult mai mare și mai rece, dar putem observa urme ale acelei perioade timpurii în radiația cosmică de fond de microunde care umple întreg spațiul.

**BOSON:** particulă elementară ce transportă forțe, mediind interacțiunile fundamentale.

CONDIȚIA FĂRĂ FRONTIERE: cerința ca istoriile universului să fie suprafețe închise fără frontiere.

CONSTANTA COSMOLOGICĂ: un parametru din ecuațiile lui Einstein care dă spațiului-timp tendința intrinsecă de a se extinde.

CUARC: particulă elementară cu sarcină electrică fracționară ce resimte forța tare. Protonii și neutronii sunt fiecare alcătuiți din câte trei cuarci.

ELECTRON: particulă elementară de materie care are sarcină electrică negativă și e responsabilă de proprietățile chimice ale elementelor.

FAZĂ: o poziție în ciclul unei unde.

FERMION: particula elementară de materie.

FIZICA CLASICĂ: orice teorie din fizică în care se presupune că universul are o singură istorie, bine definită.

FORȚA ELECTROMAGNETICĂ: între cele patru forțe fundamentale din natură, a doua ca tărie. Acționează între particule care posedă sarcini electrice.

FORȚA NUCLEARĂ SLABĂ: una dintre cele patru forțe fundamentale din natură. Forța slabă e responsabilă pentru radioactivitate și joacă un rol esențial în formarea elementelor din stele în universul timpuriu.

FORȚA NUCLEARĂ TARE: cea mai tare dintre cele patru forțe fundamentale din natură. Această forță acționează între protonii și neutronii din interiorul nucleului atomic. Ea asigură de asemenea stabilitatea protonilor și neutronilor, care, la rândul lor, sunt alcătuiți din particule și mai mici, cuarcii.

FOTON: boson care mediază forța electromagnetică. Particula cuantică de lumină.

GALAXIE: sistem vast alcătuit din stele, materie interstelară și materie întunecată, menținute laolaltă prin gravitație.

GAURĂ NEAGRĂ: regiune din spațiu-timp care, datorită imensei sale forțe gravitaționale, e ruptă de restul universului.

GRAVITAȚIE: cea mai slabă dintre cele patru forțe fundamentale din natură. Toate obiectele care au masă se atrag între ele datorită acestei forțe.

**ISTORII ALTERNATIVE:** formulare a teoriei cuantice în care probabilitatea oricărei observații este evaluată ținând cont de toate istoriile posibile care au putut conduce la acea observație.

**LEGI APARENTE:** legile naturii pe care le observăm în universul nostru – legile celor patru forțe fundamentale și parametrii ce caracterizează particulele elementare, cum sunt masa și sarcina electrică – în opoziție cu legile mai profunde ale teoriei M, care permit existența unor universuri diferite, cu legi diferite.

**LIBERTATE ASIMPTOTICĂ:** proprietate a forței tari care o face să slăbească la distanțe mici. Prin urmare, deși cuarcii sunt legați în nuclee de forța tare, ei se pot mișca în interiorul nucleelor aproape liber, ca și cum n-ar resimți vreo forță.

**MEZON:** tip de particulă elementară formată dintr-un cuarc și un anti-cuarc.

**MULTIVERS:** ansamblu de universuri.

**NEUTRIN:** particulă elementară extrem de ușoară ce resimte numai forța nucleară slabă și gravitația.

**NEUTRON:** tip de barion neutru electric, care împreună cu protonul formează nucleul unui atom.

**PRINCIPIUL ANTROPIC:** ideea potrivit căreia putem trage concluzii privind legile aparente ale fizicii pe baza faptului că existăm.

**PRINCIPIUL DE INCERTITUDINE AL LUI HEISENBERG:** lege a teoriei cuantice care afirmă că anumite perechi de proprietăți fizice nu pot fi cunoscute simultan cu o precizie oricât de mare.

**PROTON:** tip de barion încărcat electric pozitiv, care împreună cu neutronul formează nucleul unui atom.

**RENORMARE:** tehnică matematică destinată să dea sens înfinitărilor care apar în teoriile cuantice.

**SINGULARITATE:** un punct din spațiu-timp în care o mărime fizică devine infinită.

**SPAȚIU-TIMP:** spațiu matematic ale cărui puncte sunt caracterizate de coordonate atât spațiale, cât și temporale.

**SUPERGRAVITAȚIE:** teorie a gravitației care posedă un tip de simetrie numit supersimetrie.



**SUPERSIMETRIE:** un tip subtil de simetrie ce nu poate fi asociat cu o transformare din spațiul obișnuit. Una dintre consecințele importante ale supersimetriei este că particulele de forță și cele de materie, deci forțele și materia, sunt în realitate două fațete ale aceluiași lucru.

**TEORIA CORZILOR:** teorie fizică în care particulele sunt descrise ca moduri de vibrație ale unor corzi având lungime, dar nu și grosime.

**TEORIA CUANTICĂ:** teorie în care obiectele nu au o singură istorie bine definită.

**TEORIA M:** teorie fundamentală a fizicii, un candidat pentru teoria a tot ce există.

## Mulțumiri

Universul are un plan, la fel ca o carte. Dar, spre deosebire de univers, o carte nu apare spontan din nimic. O carte are nevoie de un creator, iar acest rol nu cade doar pe umerii autorilor. Întâi de toate vrem să ne exprimăm recunoștința și să mulțumim editorilor noștri, Beth Rashbaum și Ann Harris, pentru răbdarea lor aproape infinită. Ele au fost elevele noastre când aveam nevoie de elevi, profesoarele noastre când aveam nevoie de profesori și susținătoarele noastre când aveam nevoie de susținere. Ele s-au dedicat cu totul manuscrisului, și au făcut-o cu voieșie, fie că discuțiile se purtau în jurul plasării unei virgule sau a imposibilității introducerii unei curburi negative a spațiului într-un desen cu simetrie axială într-un spațiu plat. Mulțumirile noastre se îndreaptă de asemenea către: Mark Hillery, care a citit cu amabilitate o mare parte din manuscris și ne-a dat sfaturi prețioase; Carole Lowenstein, care ne-a fost de mare ajutor în tehnoredactare; David Stevenson, care a supervizat realizarea copertei; Loren Noveck, a cărei atenție pentru detaliu ne-a salvat de câteva greșeli de tipar pe care n-am fi vrut să le vedem în carte. Lui Peter Bollinger îi mulțumim pentru că prin ilustrațiile lui a îmbinat arta cu știința, precum și pentru sânguința cu care a asigurat corectitudinea fiecărui detaliu. Lui Sidney Harris îi mulțumim pentru minunatele caricaturi și pentru marea finețe cu care a înțeles problemele cu care sunt confrunțați oamenii de știință. Într-un alt univers ar fi putut să fie fizician. Suntem de asemenea recunoscători agenților noștri, Al Zuckerman și Susan Ginsburg, pentru susținere și încurajare. Două au fost mesajele pe care ni le-au transmis mereu:

„Trebuia să fi terminat deja cartea“ și „Nu vă faceți griji, până la urmă o s-o terminați“. Cu multă înțelepciune, au știut când să apeleze fie la unul, fie la celălalt. În fine, mulțumirile noastre se îndreaptă către asistenta personală al lui Stephen, Judith Croasdell, către informaticianul Sam Blackburn și către Joan Godwin. Ne-au oferit nu numai sprijin moral, dar și ajutorul practic și tehnic fără de care n-am fi putut scrie această carte. În plus, au știut întotdeauna unde se află cele mai bune puburi.

## Cuprins

Misterul existenței . . . . .	5
Domnia legii . . . . .	11
Ce este realitatea? . . . . .	31
Istorii alternative . . . . .	51
Teoria a tot ce există . . . . .	73
Selectarea universului . . . . .	103
Miracolul aparent . . . . .	125
Marele plan . . . . .	143
<i>Glosar</i> . . . . .	155
<i>Mulțumiri</i> . . . . .	159

## În colecția Știință au mai apărut

STEPHEN HAWKING

SCURTĂ ISTORIE A TIMPULUI

*De la big bang la găurile negre*

Cu toate contribuțiile sale de prim rang în fizică și cosmologie, Stephen Hawking nu ar fi ajuns probabil să fie atât de cunoscut publicului larg dacă nu ar fi scris în 1987 *Scurtă istorie a timpului*. „Nu mă așteptam ca *Scurtă istorie a timpului* să aibă atâta succes — avea să mărturisească Hawking. Ea a rămas timp de peste patru ani pe lista *Sunday Times* a celor mai bine vândute cărți, adică mai mult decât a rezistat acolo orice altă carte, fapt remarcabil pentru o lucrare științifică destul de dificilă.” Între timp, s-au vândut peste 10 milioane de exemplare. Notorietatea cărții se explică atât prin problemele pe care le atacă (nașterea universului, natura timpului și spațiului), cât și prin stilul direct și simplu care te face să ajungi la punctele-cheie ale dezbatelor actuale.

STEPHEN HAWKING

UNIVERSUL ÎNTR-O COAJĂ DE NUCĂ

„Aș putea fi închis într-o coajă de nucă și să mă cred regele spațiului infinit...” spune Hamlet, iar cartea lui Hawking e o demonstrație a libertății minții noastre de a explora întregul univers, în ciuda limitării fizice la care suntem supuși. Mai mult, libertatea gândului e ilustrată aici la propriu — desenele spectaculoase și superbe fotografii ale galaxiilor o așază alături de cele mai frumoase albume de artă. Prin cuvinte și imagini, Hawking abandonează schema prezentării liniare, din aproape în aproape, folosită în *Scurtă istorie a timpului*, în favoarea unei dezvoltări arborescente care dă independență capitolelor — fiecare din ele devine un drum spre frontierele fizicii actuale. În plus, o notă de fantastic: perspectivele călătoriei în timp și viitorul unei omeniri dominate de inteligența artificială.

LEONARD SUSSKIND

*PEISAJUL COSMIC*

Pe măsură ce înțelegem tot mai bine universul nostru, suntem confrunțați cu o întrebare tulburătoare: Cum se face că legile naturii sunt atât de fin reglate, încât să permită existența stelelor, a Pământului și, în ultimă instanță, a noastră? Pe de altă parte, teoria corzilor – care se presupune a fi explicația ultimă a fizicii – nu conduce la o singură soluție pentru legile naturii, ci la o bogăție inimaginabilă de variante. De ce atâtea posibilități, când primul gând al filozofilor și oamenilor de știință este că existența noastră e unic determinată?

Leonard Susskind răspunde la cele două întrebări printr-o remarcabilă schimbare de paradigmă, una dintre cele mai profunde din întreaga istorie a științei: universul nostru nu e decât unul între nenumărate altele, cuprinse într-un megavers în care toate posibilitățile se realizează efectiv.

BRIAN GREENE

*UNIVERSUL ELEGANT*

*Supercorzi, dimensiuni ascunse și căutarea teoriei ultime*

Visul dintotdeauna al fizicienilor a fost găsirea unei teorii ultime care să explice toate fenomenele din univers într-un cadru unitar și elegant. Până de curând însă, microcosmosul (descriș de mecanica cuantică) și macrocosmosul (descriș de relativitatea generală) păreau imposibil de adus la un numitor comun. În ultimele decenii a apărut totuși un candidat redutabil la titlul de teorie ultimă: teoria corzilor. Ea presupune o regândire radicală a noțiunilor de spațiu, timp și particulă, și chiar a ideilor pe care se întemeiază cunoașterea științifică.

*Universul elegant* e prima carte în limba română care oferă o prezentare sistematică, limpede și intuitivă a teoriei corzilor. Brian Greene, el însuși fizician de vârf cu contribuții importante în domeniu, reușește aici marea performanță de a face accesibile publicului larg, fără nici o pregătire științifică, cercetări de ultimă oră și idei pe cât de abstracte, pe atât de tulburătoare ce par să conducă spre teoria ultimă. *Universul elegant*, nominalizată la Premiul Pulitzer, este probabil cea mai citită carte de știință apărută în ultimii ani.

MARTIN REES

*DOAR ȘASE NUMERE*

Explozia inițială, *big bang*-ul, stă la originea universului în care trăim – de la atomi și molecule la planete, stele, găuri negre și galaxii. Încercările de a ne apropia de înțelegerea acestei geneze au arătat cât de profundă este legătura dintre evoluția universului la scară mare, descrisă de astronomie, și legile care guvernează microcosmosul, domeniul al fizicii particulelor elementare. Sir Martin Rees, profesor la Universitatea Cambridge, unul dintre cei mai străluciți cosmologi ai zilelor noastre, întemeindu-se pe descoperiri de ultimă oră, propune o perspectivă originală în înțelegerea evoluției universului. Doar șase numere, ținând deopotrivă de micro- și macrocosmos, înscrise în codul genetic al universului, sunt răspunzătoare de stabilitatea lumii noastre. O ușoară modificare a valorii acestor numere ar fi împiedicat nașterea stelelor sau apariția vieții. Scrisă într-un limbaj accesibil, cartea este o lectură indispensabilă oricui vrea să se apropie de misterul genezei și structurii universului.

LEE SMOLIN

*SPAȚIU, TIMP, UNIVERS*

În secolul XX, două teorii fundamentale au răsturnat perspectiva clasică asupra lumii: teoria relativității generale a lui Einstein, care descrie fenomene la scară astronomică (planete, sisteme solare și galaxii), și mecanica cuantică, explicând fenomenele de la scară microscopică (molecule, atomi, nuclee). Vreme îndelungată, fundamentele înseși ale celor două teorii păreau ireconciliabile, iar încercările fizicienilor de a ajunge la o teorie care să unifice gravitația și mecanica cuantică, o teorie a „tot ce există”, nu au dus nicăieri. În ultimii ani însă, șansa unificării pare să surâdă fizicienilor, fiind creat un cadru matematic capabil să reconcilieze gravitația și mecanica cuantică. Lee Smolin, unul dintre pionierii domeniului, prezintă cu eleganță, simplitate și claritate concepția actuală despre spațiu și timp. Cartea ne confruntă cu cele mai profunde și tulburătoare întrebări legate de natura universului, cum ar fi dacă spațiul și timpul sunt continue sau discontinue, întrebări pe care nimeni, specialist sau nespecialist, nu se poate împiedica să și le pună.

WERNER HEISENBERG

*PARTEA ȘI ÎNTREGUL*

*Discuții în jurul fizicii atomice*

Anii '20 ai secolului trecut au transformat radical fizica și cunoașterea în genere odată cu apariția mecanicii cuantice. Concepte fundamentale, cu care știința și filozofia se obișnuiseră de veacuri, au fost fie abandonate, fie redefinite grație curajului intelectual al unui grup de tineri fizicieni (Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Erwin Schrödinger, Paul Dirac) dominat de figura lui Niels Bohr.

*Partea și întregul* nu e o simplă carte de memorii în care se aude numai vocea autorului. Ajuns la senectute, Werner Heisenberg folosește arta dialogului pentru a-și povesti devenirea spirituală: convorbirile cu marii săi contemporani sunt substanța cărții. Savant, gânditor, iubitor al muzicii și al naturii, Heisenberg se afla în căutarea permanentă a plenitudinii, a ceea ce numește „marile conexiuni” care pot face lumea inteligibilă, dar mecanismul infernal al istoriei lasă omului un spațiu de acțiune prea îngust. Heisenberg explică dureroasele alegeri pe care a trebuit să le facă sub presiunea regimului nazist și reconstituie un timp în care știința și conștiința au fost atât de greu de împăcat.

STEVEN WEINBERG

*VISUL UNEI TEORII FINALE*

*În căutarea legilor ultime ale naturii*

„Lucrul cel mai uimitor despre univers este că poate fi cunoscut”, spunea Einstein la începutul secolului XX, iar de atunci oamenii de știință s-au apropiat tot mai mult de înțelegerea tuturor fenomenelor fizice pornind de la un număr mic de principii fundamentale. Cercetările lor par să convergă spre o teorie finală, un cadru unic care să descrie particulele și interacțiile din natură, punctul terminus al explicațiilor generate de stăruitoarea întrebare „de ce?”. De un secol, eforturile fizicienilor au fost călăuzite în bună parte de judecăți estetice: o teorie profundă trebuie să aibă acea frumusețe greu de definit, dar ușor de recunoscut, care o face să corespundă realității. În ultimele trei decenii însă, în ciuda marii ingeniozități a teoreticienilor, cunoașterea a bătut pasul pe loc – nu am avut la dispoziție un accelerator de particule suficient de puternic pentru a atinge acele energii la care experimentele să poată decide între diferitele variante ale teoreticienilor.



GEORGE GAMOW, RUSSELL STANNARD  
*MINUNATA LUME A DOMNULUI TOMPKINS*

Cum pot fi povestite teoriile din fizică într-o formă atât de atrăgătoare, încât oricine – specialist sau complet neinițiat – să fie cucerit de teoria relativității și mecanica cuantică așa cum sunt copiii fascinați de basme? Aceasta e provocarea la care a răspuns cu mai bine de jumătate de secol în urmă George Gamow, unul dintre marii fizicieni ai lumii, deschizător de drumuri în fizica nucleară și cosmologie. Rezultatul e o carte plină de imaginație, scrisă cu mare talent literar, un fel de *Alice în Țara Minunilor* pentru uzul celor curioși să afle din ce e alcătuită materia și cum s-a născut universul. Domnul Tompkins, personajul inventat de Gamow, deopotrivă naiv și iscoditor, descoperă pe calea reveriilor o lume bizară, diferită de cea în care ne ducem viața de zi cu zi. Povestea lui, devenită celebră pentru generații de fizicieni, a fost revăzută și actualizată de Russell Stannard – cunoscut autor de știință popularizată – pentru a-și găsi locul în ea și cele mai recente teorii științifice.

RICHARD P. FEYNMAN

*ȘASE LECȚII UȘOARE*

*Bazele fizicii explicate de cel mai strălucit profesor*

La începutul anilor '60, la Institutul Tehnologic din California a avut loc probabil cel mai spectaculos eveniment din istoria învățământului de fizică: unul dintre marii fizicieni ai secolului XX, laureat al Premiului Nobel în 1965, a ținut un curs introductiv de fizică pentru studenții din primii ani. Cursul avea să fie tipărit în milioane de exemplare în lumea întreagă, căpătând o notorietate fără egal și devenind pentru generațiile de elevi și studenți care s-au succedat o superbă inițiere în studiul fizicii.

Fizicianul de la Caltech este Richard P. Feynman, cel ce a introdus diagramele care îi poartă numele și metoda integralei de drum, dar și un stil nonconformist, deopotrivă ludic și pătrunzător, de a face știință. De la spargerea seifurilor cu documente secrete (pe când lucra la proiectul bombei atomice, în timpul războiului) la contribuțiile sale cruciale în electrodinamica cuantică și de la cursurile ținute studenților începători la explicarea simplă a dezastrului navei Challenger, tot ce a făcut Feynman poartă amprenta spiritului său scilicet și surprinzător.

IAN STEWART

DE CE FRUMUSEȚEA ESTE ADEVĂRUL

*O istorie a simetriei*

Totul a început, pe vremea babilonienilor, cu o problemă care azi pare banală pentru orice elev: rezolvarea ecuației de gradul doi. Cum însă dezvoltarea matematicii urmează căi nebănuite, încercarea de a rezolva prin radicali ecuația de gradul cinci a condus în secolul XIX la apariția unei întregi noi ramuri care descrie simetria – teoria grupurilor. S-a dovedit apoi că abstracțiunile matematicienilor nu numai că sunt utile fizicienilor, dar că ele stau la baza înțelegerii naturii. Cu alte cuvinte, că structura cea mai profundă a universului nostru e simetrică.

Celebrul matematician englez Ian Stewart (autor al cărții *Numerele naturii*, apărută la Humanitas) spune povestea descoperirii simetriei și a legăturii adânci dintre matematică și fizică. Personajele lui nu sunt savanți imateriali, ci oameni în carne și oase care suferă drame, se luptă în duel sau cad în patima beției ori a jocurilor de noroc. În *De ce frumusețea este adevărul* ideile cele mai abstracte se întâlnesc cu viața cea mai tumultuoasă, iar rezultatul e un pasionant roman al matematicii.

IAN STEWART

NUMERELE NATURII

*Ireala realitate a imaginației matematice*

De ce multe flori au cinci sau opt petale, dar foarte puține șase sau șapte? De ce fulgii de zăpadă au o simetrie hexagonală? De ce tigrii au dungi, dar leoparzii pete?

Formele și frumusețile lumii naturale i-au inspirat mereu deopotrivă pe artiști și pe savanți. Viziunea despre locul nostru în univers reflectă înțelegerea la care am ajuns privind formele și structurile din natură. Intellectul uman și cultura au inventat un sistem de raționamente care ne permite să recunoaștem, să clasificăm și să folosim formele: matematica. *Numerele naturii* vă înzestrează cu ochii matematicianului. După această călătorie prin matematică veți privi altfel lumea.

Ian Stewart este autorul a peste șaiszeci de cărți de matematică și deține rubrica „Amuzamente matematice” din *Scientific American*.

În *Marele plan*, Stephen Hawking și Leonard Mlodinow își confruntă cititorii cu unele dintre cele mai profunde și grave întrebări pe care și le pot pune oamenii: Când și cum a apărut universul? De ce ne aflăm aici? De ce există ceva mai degrabă decât nimic? Care este natura realității? De ce legile naturii sunt atât de fin reglate încât să permită apariția unor ființe ca noi? Este oare aparentul „mare plan“ al universului nostru dovada existenței unui creator, sau poate știința oferi o altă explicație?

Răspunsurile date aici de Stephen Hawking, unul dintre cei mai mari savanți ai timpurilor noastre, și de Leonard Mlodinow, fizician și scenarist al serialului *Star Trek*, pornesc de la ideea că universul nu are doar o singură istorie, ci toate istoriile sale posibile există simultan – idee care ne schimbă radical felul în care suntem obișnuiți să privim lumea.

Alte cărți de știință la Humanitas:

Stephen Hawking, *Scurtă istorie a timpului*

Stephen Hawking, *Universul într-o coajă de nucă*

Leonard Susskind, *Peisajul cosmic*

Steven Weinberg, *Vîsul unei teorii finale*

Werner Heisenberg, *Partea și întregul*

ISBN 978-973-50-3742-0

