

# PEISAJUL COSMIC

Leonard Susskind s-a născut la New York în 1940. A studiat la Universitatea Cornell, apoi a predat la Universitatea Yeshiva și la Universitatea din Tel Aviv, pentru ca în 1979 să devină profesor la Universitatea Stanford.

Leonard Susskind este considerat părintele teoriei corzilor. A avut o îndelungată dispută științifică cu Stephen Hawking, dispută tranșată în cele din urmă în favoarea sa și pe care a prezentat-o publicului larg în *The Black Hole War (Războiul găurilor negre)*.

LEONARD SUSSKIND

# PEISAJUL COSMIC

Teoria corzilor și iluzia unui plan inteligent

Traducere din engleză de  
IRINEL CAPRINI



HUMANITAS  
BUCUREȘTI

Redactor: Vlad Zografi  
Coperta: Ioana Nedelcu  
Tehnoredactor: Manuela Măxineanu  
Corectori: Patricia Rădulescu, Iuliana Glăvan  
DTP: Andreea Dobreci, Dan Dulgheru

Tipărit la Proeditură și Tipografie

Leonard Susskind

*The Cosmic Landscape. String Theory and the Illusion of Intelligent Design*

Copyright © 2006 by Leonard Susskind

All rights reserved.

Illustrations credits: Einstein (p. 87), California Institute of Technology Archives; Rube Goldberg machine (p. 134), Rube Goldberg is the ® and © of Rube Goldberg Inc.; Kepler's model (p. 144), from J. Kepler, *Mysterium Cosmographicum* (1596); Crab Nebula (p. 212), ESO-European Southern Observatory; eclipse (p. 220), Fred Esperak; snowflake (p. 279), Kenneth G. Libbrecht, Professor of Physics, Cal Tech; Calabi Yau (p. 333), Jean-François Colonna, CMAP (Centre de Mathématiques Appliquées); Mercator projection (p. 357), *An Album of Map Projections*, USGS Professional Paper 1453, by John P. Snyder and Phillip M. Voxland (USGPO, 1989); Escher (p. 358), M.C. Escher's *Limit Circle IV*, © 2005 The M.C. Escher Company-Holland. All rights reserved. [www.mcescher.com](http://www.mcescher.com)

© HUMANITAS, 2012, pentru prezenta versiune românească

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

SUSSKIND, LEONARD

Peisajul cosmic: teoria corzilor și iluzia unui plan inteligent / Leonard Susskind;

trad.: Irinel Caprini. – București: Humanitas, 2012

ISBN 978-973-50-3581-5

I. Caprini, Irinel (trad.)

523:53

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 email: [vanzari@libhumanitas.ro](mailto:vanzari@libhumanitas.ro)

Comenzi telefonice: 0372.743.382; 0723.684.19

„Înălțimea voastră, nu am nevoie de această ipoteză.“

Pierre-Simon de Laplace (1749–1827),  
răspuns dat lui Napoleon când acesta l-a  
întrebat de ce mecanica lui cerească  
nu făcea nici o referire la Dumnezeu.

## CAPITOLUL 1

# Lumea după Feynman

Sunt sigur că nu vom ști niciodată numele primului cosmolog care a privit cerul și s-a întrebat: „Ce sunt toate astea? Cum au ajuns acolo? Ce caut *eu* aici?“ Ce știm e că asta s-a întâmplat în adâncurile preistoriei, probabil în Africa. Primele cosmologii, mituri ale creației, nu seamănă deloc cu cosmologia științifică de azi, dar s-au născut din aceeași curiozitate umană. Nu e surprinzător că aceste mituri au fost despre pământ, apă, cer și ființele vii. Și, desigur, ele îl aduceau în scenă pe creatorul supranatural: cum altfel s-ar explica existența unor ființe atât de complexe și complicate cum sunt oamenii, ca să nu mai pomenim de ploaie, Soare, animalele bune de mâncat și plantele care păreau plasate pe pământ doar pentru binele nostru?

Ideea că niște legi precise ale naturii guvernează atât lumea cerească, cât și pe cea terestră i se datorează lui Isaac Newton. Înainte de Newton nu exista conceptul de lege universală, care să se aplice și obiectelor astronomice precum planetele, și obiectelor obișnuite de pe pământ, cum sunt ploaia care cade sau săgețile în zbor. Legile mișcării ale lui Newton au fost primele exemple de asemenea legi universale. Dar chiar și pentru marele Sir Isaac era prea mult să presupună că aceleași legi au dus la crearea ființelor umane: el a petrecut mai mult timp studiind teologia decât fizica.

Nu sunt istoric, dar aș îndrăzni să formulez o opinie: cosmologia modernă a început efectiv cu Darwin și Wallace<sup>1</sup>. Ca nimeni alții înaintea lor, ei au furnizat despre existența noastră explicații care

---

1. Alfred Russel Wallace (1832-1913), contemporan cu Darwin, a descoperit în paralel cu el selecția naturală ca mecanism care determină evoluția speciilor. Faptul că a citit o scurtă notă a lui Wallace l-a convins în final pe Darwin să-și publice propria operă. (*N. a.*)

eliminau complet agenții supranaturali. Două legi naturale stau la baza evoluției darwiniene. Prima e că reproducerea informației nu este niciodată perfectă. Chiar și cele mai bune mecanisme de reproducere fac din când în când mici erori. Replicarea ADN-ului nu face excepție. Deși a trebuit să treacă încă un secol până când Crick și Watson să descopere spirala dublă, Darwin a înțeles intuitiv că mutațiile întâmplătoare acumulate constituie motorul care pune în mișcare evoluția. Majoritatea mutațiilor sunt nefaste, dar Darwin înțelegea suficient de bine probabilitățile pentru a ști că, din când în când, din pură întâmplare, se produce o mutație benefică.

Al doilea pilon al teoriei intuitive a lui Darwin a fost principiul competiției: învingătorul reușește să se înmulțească. Genele mai bune prosperă; genele inferioare dispar. Aceste două idei simple au explicat cum s-a putut forma viața complexă și chiar inteligentă fără nici o intervenție supranaturală. În lumea de azi a virușilor informatici și a viermilor de pe internet, este ușor să ne imaginăm principii similare aplicându-se unor obiecte neînsușite. Odată îndepărtată magia din originea ființelor vii, calea către o explicație pur științifică a creației a fost deschisă.

Darwin și Wallace au stabilit un cadru nu numai pentru științele vieții, ci și pentru cosmologie. Legile care guvernează nașterea și evoluția universului trebuie să fie aceleași cu legile care guvernează căderea pietrelor, chimia și fizica nucleară a elementelor și fizica particulelor elementare. Ele ne-au eliberat de supranatural, arătând că viața complexă și chiar și viața inteligentă ar putea apărea din întâmplare, prin competiție și cauze naturale. Cosmologii trebuie să facă la fel: la baza cosmologiei trebuie să stea legi impersonale, aceleași în tot universul a cărui origine nu are nimic de-a face cu propria noastră existență. Singurul zeu permis cosmologilor ar fi „ceasornicarul orb“ al lui Richard Dawkins.<sup>1</sup>

---

1. Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker* (New York: Norton, 1996) [Ediția românească: *Ceasornicarul orb*, Humanitas, București, 2009]. Dawkins invocă metafora unui ceasornicar orb pentru a descrie modul cum evoluția a creat orbește universul biologiei. Metafora poate fi extinsă cu ușurință la crearea cosmosului. (N. a.)

Paradigma cosmologiei moderne nu e foarte veche. Când eram student masterand la Universitatea Cornell, la începutul anilor '60, teoria big bang a universului era încă într-o competiție strânsă cu un alt concurent serios. Teoria stării staționare era, într-un anume sens, opusul logic al big bang-ului. Dacă big bang-ul spunea că universul a început la un moment dat, starea staționară spunea că el a existat dintotdeauna. Starea staționară a fost opera a trei dintre cei mai faimoși cosmologi ai lumii – Fred Hoyle, Herman Bondi și Thomas Gold –, care credeau că o producere explozivă a universului în urmă cu doar zece miliarde de ani era o posibilitate prea puțin probabilă. Gold era profesor la Cornell și avea biroul la doar câteva uși de al meu. Pe atunci, el predica neobosit virtuțile unui univers infinit de bătrân (și infinit de mare). Ne cunoșteam doar cât să ne salutăm dimineața, dar, într-o bună zi, în mod cu totul neobișnuit, el și-a băut cafeaua alături de câțiva studenți masteranzi și am putut să-l întreb ceva ce mă frământa: „Dacă universul este veșnic același, cum se face că galaxiile se îndepărtează unele de altele? Înseamnă că în trecut ele au fost mai apropiate între ele?” Explicația lui Gold a fost simplă: „E adevărat că galaxiile se îndepărtează, dar, pe măsură ce se separă, o materie nouă e creată pentru a umple spațiul dintre ele.” Era un răspuns inteligent, dar nu avea nici un sens matematic. După vreun an sau doi, universul staționar a lăsat loc big bang-ului și a intrat curând în uitare. Paradigma victorioasă a big bang-ului afirma că universul în expansiune are vârsta de numai circa zece miliarde de ani și o mărime de aproximativ zece miliarde de ani-lumină.<sup>1</sup> Dar un lucru comun celor două teorii era convingerea că universul este omogen, ceea ce înseamnă că este același peste tot: guvernat pretutindeni de aceleași legi ale fizicii. În plus, acele legi ale fizicii sunt aceleași cu cele pe care le descoperim în laboratoarele terestre.

A fost palpitant de urmărit, în cursul ultimilor patruzeci de ani, felul în care cosmologia experimentală a evoluat de la o artă rudimentară, calitativă, la o știință cantitativă foarte precisă. Dar

---

1. Un an-lumină este, desigur, distanța pe care o parcurge lumina într-un an. El este de aproximativ zece mii de miliarde de kilometri. (*N. a.*)



numai recent cadrul general al teoriei big bang a lui George Gamow a început să facă loc unei idei mai puternice. La începutul noului secol, ne aflăm într-un moment de cumpănă care e pe cale să schimbe pentru totdeauna înțelegerea noastră asupra universului. Se întâmplă ceva care depășește cu mult descoperirea unor noi fapte sau a unor noi ecuații. Perspectiva și modul nostru de gândire, toată epistemologia fizicii și cosmologiei, suferă o transformare radicală. Paradigma îngustă a secolului XX, a unui singur univers cu vârsta de aproximativ zece miliarde de ani și dimensiunea de zece miliarde de ani-lumină, guvernat de un set unic de legi fizice, lasă loc unei idei mult mai ample și cu un conținut bogat de posibilități noi. Treptat, cosmologii și fizicienii ca mine ajung să vadă cei zece miliarde de ani-lumină ai noștri ca pe un „buzunar“ infinitesimal al unui imens *megavers*.<sup>1</sup> În același timp, fizicienii teoreticieni propun teorii care reduc statutul legilor noastre obișnuite ale naturii la un mic ungher dintr-un peisaj gigantic de posibilități matematice.

Cuvântul *peisaj*, în contextul de față, datează doar de câțiva ani, dar de când l-am introdus, în 2003, a devenit o parte a vocabularului cosmologilor. El denotă un spațiu matematic care reprezintă toate situațiile posibile pe care le permite teoria. Fiecare situație posibilă își are propriile legi ale fizicii, propriile particule elementare și constante ale naturii. Unele sunt asemănătoare celor din lumea noastră, dar puțin diferite. De exemplu, pot exista electroni, cuarci și toate particulele uzuale, dar gravitația poate fi de un miliard de ori mai puternică decât a noastră. Altele au o gravitație ca a noastră, dar conțin electroni mai grei decât nucleele atomice.<sup>2</sup> Iar altele pot semăna cu lumea noastră, cu excepția unei violente forțe repulsive (numită constanta cosmologică), care împinge galaxiile, moleculele și chiar atomii departe unii de alții. Nici cele trei dimensiuni ale spațiului nu sunt sacre; unele

---

1. Termenul de *multivers* a fost deseori folosit în loc de megavers. Personal, îl prefer pe cel de megavers. Scuzele mele susținătorilor multiversului. (*N. a.*)

2. În lumea noastră, nucleele atomilor sunt de mii de ori mai grele decât electronii. (*N. a.*)

regiuni ale peisajului descriu lumi cu patru, cinci, șase sau chiar mai multe dimensiuni.

Conform teoriilor cosmologice moderne, diversitatea peisajului e însoțită de o diversitate corespunzătoare a spațiului obișnuit. Cosmologia inflaționistă, care este cea mai bună teorie pe care o avem despre univers, ne conduce, oarecum fără voie, la conceptul de megavers umplut cu un număr impresionant de ceea ce Alan Guth numea „universuri de buzunar“. Unele sunt microscopice și nu ajung niciodată mari. Altele sunt mari ca universul nostru, dar complet goale. Și fiecare stă în propria lui micuță vale din peisaj. Întrebarea veche a secolului XX „Ce se găsește în univers?“ este înlocuită cu „Ce nu se găsește?“.

Locul omului în univers este și el reexaminat și pus sub semnul întrebării. Un megavers de o asemenea diversitate nu poate asigura viața inteligentă peste tot, ci doar într-o mică fracțiune a sa. Conform acestei perspective, multe întrebări, cum ar fi „De ce are o constantă a naturii o anumită valoare, și nu alta?“, vor avea răspunsuri care sunt complet diferite de ceea ce au sperat fizicienii. Nici o valoare unică nu va fi selectată prin condiția de coerență matematică, deoarece peisajul permite o varietate enormă de valori posibile. În schimb, răspunsul va fi: „Undeva în megavers constanta este egală cu *acest* număr; în altă parte ea este *acel* număr. Noi trăim într-un mic «buzunar» unde valoarea constantei este compatibilă cu tipul nostru de viață. Asta e! Asta-i tot! Nu există vreun alt răspuns la întrebare.“

În legile și constantele naturii apar multe coincidențe care nu au altă explicație decât că „Dacă ar fi fost altfel, viața inteligentă n-ar fi putut exista“. Pentru unii asta înseamnă că legile fizicii au fost alese, cel puțin în parte, astfel încât să permită existența noastră. Numită principiul antropic, această idee e detestată de majoritatea fizicienilor, după cum am arătat în introducere. Unii o găsesc înrudită cu miturile creației supranaturale, cu religia sau cu planul inteligent. Alții simt că ea reprezintă o capitulare, o abdicare de la încercarea nobilă de a căuta răspunsuri raționale. Dar, din cauza progreselor fără precedent din fizică, astronomie

și cosmologie, aceiași fizicieni sunt obligați să-și reevalueze judecățile. Există patru dezvoltări principale care sunt motorul acestei schimbări totale: două din fizica teoretică și două din astronomia observațională. De partea teoretică, o consecință a teoriei inflaționiste numită „inflația eternă“ cere ca lumea să fie un megavers, plin de universuri de buzunar care s-au format în spațiul în expansiune, ca bulele dintr-o sticlă de șampanie destupată. În același timp, teoria corzilor produce un peisaj de o enormă diversitate. Cele mai bune estimări spun că sunt posibile  $10^{500}$  lumi distincte. Acest număr (unu urmat de cinci sute de zerouri) depășește cu mult ceea ce e deja „inimaginabil de mare“, dar chiar și el s-ar putea să nu fie suficient de mare pentru a exprima toate posibilitățile.

Descoperirile astronomice foarte recente merg în paralel cu progresele teoretice. Cele mai noi date astronomice despre mărimea și forma universului confirmă faptul că universul s-a „umflat“ exponențial până la o dimensiune fantastică, mult mai mare decât cele zece sau cincisprezece miliarde de ani-lumină standard. Nu încapе îndoială că suntem scufundați într-un megavers cu mult mai mare. Dar cea mai mare noutate e faptul că, în lăcașul nostru din spațiu, celebra constantă cosmologică (un termen matematic pe care Einstein l-a introdus inițial în ecuațiile sale și pe care mai târziu l-a respins dezgustat) nu este exact zero, cum se considera a fi. Această descoperire a zdruncinat lucrurile mai mult decât oricare alta. Constanta cosmologică reprezintă o respingere gravitațională suplimentară, un fel de antigravitație, care se credea că e total absentă din lumea reală. Faptul că nu e absentă este un dezastru pentru fizicieni, și singurul mod pe care îl cunoaștem de a-i da un sens este prin mult hulitul și disprețuitul principiu antropic.

Nu știi ce răsturnări stranii și inimaginabile vor suferi ideile noastre despre univers pe măsură ce vom explora întinderea acestui peisaj. Dar aș paria că pe la începutul secolului XXII, filozofii și fizicienii vor privi înapoi la momentul prezent ca la un timp când conceptul de univers al secolului XX a făcut loc unui megavers, așezat într-un peisaj de proporții uimitoare.

## Natura are oscilații

„Cine nu e șocat de teoria cuantică n-a înțeles-o.“

NIELS BOHR

Ideea că legile fizicii pot varia în univers este la fel de lipsită de sens ca și ideea că poate exista mai mult decât un singur univers. Universul este tot ceea ce există; este, poate, singurul substantiv care, logic, nu trebuie să aibă plural. Legile care guvernează universul ca întreg nu se pot schimba. Ce legi ar governa acele schimbări? Nu fac și ele parte din legile fizicii?

Dar prin legile fizicii eu înțeleg ceva mult mai modest decât legile finale, supreme, care reglementează toate aspectele megaversului. Înțeleg lucrurile pe care le-ar avea în vedere un fizician obișnuit din secolul XX, interesat mai mult de laborator decât de univers: legile care guvernează blocurile constitutive ale materiei obișnuite.

Cartea de față are ca subiect aceste legi ale fizicii – nu *cum* sunt ele, ci *de ce* sunt așa. Dar înainte de a putea discuta de ce sunt așa, trebuie să știm cum sunt. Cum sunt, de fapt, aceste legi? Ce spun ele, și cum sunt exprimate? Scopul acestui capitol este să vă pună la curent cu legile fizicii așa cum erau ele înțelese în jurul anului 2000.

Pentru Isaac Newton și cei care au venit după el, lumea fizică era un mecanism determinist precis, al cărui trecut îi determina viitorul „la fel de sigur ca faptul că noaptea urmează zilei“. Legile naturii erau reguli (ecuații) care exprimau acest determinism într-un limbaj matematic precis. De exemplu, se putea determina cum se mișcă obiectele pe traiectorii precise, date fiind pozițiile lor inițiale (incluzând și vitezele). Marele fizician și matematician francez din secolul XVIII Pierre-Simon de Laplace s-a exprimat astfel:

Putem privi starea prezentă a universului ca pe efectul trecutului său și ca pe cauza viitorului. O minte luminată care ar cunoaște la un anumit moment toate forțele care pun natura în mișcare și toate pozițiile corpurilor care compun natura, dacă această minte ar fi și suficient de vastă

pentru a supune unei analize toate datele, ea ar cuprinde într-o singură formulă mișcările celor mai mari corpuri din univers, ca și mișcarea celui mai mic atom; pentru o asemenea minte, nimic nu ar fi incert, iar viitorul, la fel ca trecutul, ar fi prezent în fața ochilor săi.

În cazul în care traducerea din franceză e neclară, Laplace spune că dacă, la un anumit moment, voi (niște minți superluminate) ați cunoaște poziția și viteza fiecărei particule din univers, atunci ați putea apoi să preziceți mereu viitorul exact al lumii. Această imagine ultra-deterministă a naturii a fost paradigma dominantă până când, la începutul secolului XX, gânditorul subversiv Albert Einstein a făcut un pas înainte și a schimbat totul. Deși Einstein e celebru mai ales pentru teoria relativității, mutarea sa cea mai îndrăzneată și mai radicală – mutarea cea mai subversivă – a avut de-a face cu lumea stranie a mecanicii cuantice, nu cu teoria relativității. De atunci, fizicienii au înțeles că legile fizicii sunt legi cuantice. Din acest motiv, am ales să încep acest prim capitol cu o scurtă lecție despre „cum să gândim în spiritul mecanicii cuantice“.

La fel ca Alice în Țara Minunilor, sunteți pe punctul de a intra în bizara lume a fizicii moderne, unde nimic nu e ceea ce pare, totul fluctuează și clipește, iar incertitudinea domnește în chip suprem. Uitați de universul previzibil ca mecanismul unui ceasornic al fizicii newtoniene. Lumea mecanicii cuantice nu e deloc previzibilă. Revoluțiile din fizică de la începutul secolului XX nu au fost „revoluții de catifea“. Ele nu numai că au schimbat ecuațiile și legile fizicii, dar au distrus fundamentele epistemologice ale unei mari părți din știința clasică și din filozofie. Mulți fizicieni nu s-au putut adapta noilor moduri de raportare la fenomene și au fost lăsați în urmă. Dar o generație mai tânără, mai flexibilă, a fost atrasă de ideile moderne bizare și a dezvoltat noi intuiții și capacități de vizualizare. Atât de radicală a fost schimbarea, încât mulți fizicieni teoreticieni din generația mea găsesc că e mai simplu să gândească în termenii mecanicii cuantice, decât în vechea manieră clasică.

Mecanica cuantică a fost cel mai mare șoc. La nivel cuantic, lumea e un loc agitat, fluctuant, de probabilități și incertitudini.

Dar electronul nu se deplasează pur și simplu clătînându-se de colo-colo ca un marinar beat. Există o schemă mai subtilă a mișcării aleatorii, care e descrisă cel mai bine prin simbolismul secret al matematicii abstracte. Totuși, cu puțin efort din partea mea și ceva răbdare din partea voastră, lucrurile cele mai importante pot fi traduse în limbajul comun.

Începând cu secolul XIX, fizicienii au folosit metafora unei mese de biliard pentru a reprezenta lumea fizică a particulelor care interacționează și se ciocnesc. James Clerk Maxwell a folosit analogia; la fel a făcut Ludwig Boltzmann. Acum ea e utilizată de nenumărați fizicieni pentru a explica lumea cuantică. Prima oară am auzit-o folosită de Richard Feynman, care a explicat lucrurile astfel:

Imaginați-vă o masă de biliard care e atât de desăvârșit construită, încât nu există deloc frecare. Bilele și marginile mesei sunt atât de elastice, încât ori de câte ori are loc o ciocnire, bilele ricoșează fără a pierde energie cinetică. Să îndepărtăm și buzunarele, astfel încât, odată puse în mișcare, bilele vor continua să se miște la infinit, ciocnindu-se, izbindu-se de margini și mișcându-se în continuare. Jocul începe cu cincisprezece bile aranjate într-un triunghi, ca o versiune bidimensională a unei stive de ghiulele de tun. Bila lovită de tac se îndreaptă ca o rachetă către stivă.

Ce se întâmplă apoi e prea complicat și imprevizibil de urmărit. Dar de ce e atât de imprevizibil? Motivul este că fiecare ciocnire amplifică diferențele infime din pozițiile și vitezele inițiale ale bilelor, încât chiar și cea mai mică deviație duce în final la un rezultat cu totul diferit. [Acest tip de ultrasensibilitate față de condițiile inițiale se numește haos, și este o trăsătură omniprezentă a naturii.] A încerca să reproducem o partidă de biliard nu e la fel cu a reproduce o partidă de șah. Ar necesita o precizie aproape infinită. Totuși, în fizica clasică bilele se mișcă pe traiectorii perfect precise, iar mișcarea e complet predictibilă, cu singura condiție de a cunoaște cu precizie infinită pozițiile și vitezele inițiale ale bilelor. Desigur, cu cât dorim să precizem mișcarea pe o perioadă mai lungă, cu atât mai precis trebuie să cunoaștem datele inițiale. Dar nu există nici o limită asupra preciziei acestor date și nici o limită asupra capacității noastre de a prezice viitorul din trecut.

Spre deosebire de aceasta, partida de biliard cuantică nu poate fi prezisă, oricât de mult s-ar strădui jucătorii. Nici o precizie nu

permite mai mult decât predicții statistice ale rezultatelor. Jucătorul de biliard clasic ar putea recurge la statistică doar fiindcă datele inițiale ar fi imperfect cunoscute, sau rezolvarea ecuațiilor de mișcare ar fi prea grea. Dar jucătorul cuantic nu are posibilitatea de a alege. Legile mecanicii cuantice au un element aleator intrinsec, care nu poate fi eliminat niciodată. De ce nu – de ce nu putem prezice viitorul din cunoașterea pozițiilor și a vitezelor inițiale? Răspunsul este faimosul principiu de incertitudine al lui Heisenberg.

Principiul de incertitudine descrie o limitare fundamentală a modului în care putem determina simultan pozițiile și vitezele. Este paradoxul „catch-22” dus la extrem.\* Îmbunătățindu-ne cunoașterea privind poziția bilei, în efortul de a ne îmbunătăți predicțiile, pierdem inevitabil precizia asupra locului unde se va afla bila în momentul următor. Principiul de incertitudine nu e doar un rezultat calitativ privind comportarea obiectelor. El are o formulare cantitativă foarte precisă: produsul dintre incertitudinea poziției unui obiect și incertitudinea impulsului<sup>1</sup> său este întotdeauna mai mare decât un anumit număr (foarte mic) numit constanta lui Planck.<sup>2</sup> Heisenberg și alții după el au încercat să imagineze căi de a învinge principiul de incertitudine. Exemplele lui Heisenberg implicau electroni, dar ar fi putut folosi la fel de bine bile de biliard. Îndreptați un fascicul de lumină spre o bilă cuantică de biliard. Lumina reflectată de bilă poate fi focalizată pe un film fotografic și, din acea imagine, putem deduce localizarea bilei. Dar ce putem spune despre viteza bilei: cum poate fi ea măsurată? Cea mai simplă și mai directă cale ar fi să facem o a doua măsurătoare a poziției la scurt timp. Cunoscând poziția la două momente succesive, este ușor să determinăm viteza.

---

\* Paradox logic din romanul cu același titlu de Joseph Heller, publicat în 1961, care se referă la o situație imposibil de controlat. (*N. t.*)

1. Impulsul unui obiect se definește ca produsul dintre masa și viteza lui. (*N. a.*)

2. Simbolul pentru constanta lui Planck este litera  $h$ , iar valoarea sa numerică este  $6,626058 \times 10^{-34}$  m<sup>2</sup> kg/s, unde  $m$ ,  $kg$  și  $s$  sunt notațiile pentru *metru*, *kilogram* și *secundă*. (*N. a.*)

## Cuprins

Prefață .....	7
Introducere .....	11
Capitolul 1. Lumea după Feynman .....	27
Capitolul 2. Sursa tuturor problemelor fizicii .....	79
Capitolul 3. Aspectul peisajului .....	109
Capitolul 4. Mitul unicității și al eleganței .....	133
Capitolul 5. Un trăsnet din cer .....	155
Capitolul 6. Pește înghețat și pește fiert .....	198
Capitolul 7. O lume acționată prin benzi de cauciuc .....	231
Capitolul 8. Reîntruparea .....	264
Capitolul 9. Pe cont propriu? .....	301
Capitolul 10. Membranele din spatele celei mai mari mașini Rube Goldberg .....	313
Capitolul 11. Un univers din bule .....	336
Capitolul 12. Războiul găurilor negre .....	374
Capitolul 13. În loc de concluzii .....	394
Epilog .....	432
Precizare asupra distincției dintre peisaj și megavers .....	437