

REVOLUȚIA
NETERMINATĂ
A LUI EINSTEIN

Lee Smolin (n. 1955) este una dintre figurile proeminente ale fizicii teoretice și cosmologiei. Împreună cu Carlo Rovelli, a lucrat la o promițătoare tentativă de a unifica mecanica cuantică și relativitatea generală, teorie numită gravitația cuantică cu bucle. A lansat ipoteza selecției naturale cosmologice, susținând că un proces analog selecției naturale din biologie are loc și la scara universului. A avut de asemenea contribuții în interpretarea mecanicii cuantice, fizica particulelor elementare, biologie teoretică și filozofia fizicii. Este cofondator al Institutului Perimeter și autorul unor cărți în care prezintă publicului larg ideile sale științifice: *The Life of the Cosmos* (1997), *Three Roads to Quantum Gravity* (2001), *The Trouble With Physics: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next* (2006), *Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe* (2013; *Timpul renăscut: De la criza fizicii la viitorul universului*, Humanitas, 2022), *Einstein's Unfinished Revolution: The Search for What Lies Beyond the Quantum* (2019).

LEE SMOLIN

REVOLUȚIA
NETERMINATĂ
A LUI EINSTEIN

CĂUTAREA A CEEA CE SE AFLĂ
DINCOLO DE CUANTE

Traducere din engleză
de Walter Fotescu

 HUMANITAS
BUCUREȘTI

Redactor: Vlad Zografi
Coperta: Ioana Nedelcu
Tehnoredactor: Manuela Măxineanu
Corector: Alina Dincă
DTP: Dragoș Dumitrescu, Dan Dulgheru

Tipărit la Artprint

Lee Smolin

Einstein's Unfinished Revolution: The Search for What Lies Beyond Quantum

Copyright © 2019 by Lee Smolin

Illustrations copyright © 2019 by Kaća Bradonjić

All rights reserved.

© HUMANITAS, 2023, pentru prezenta versiune în limba română

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

Smolin, Lee

Revoluția neterminată a lui Einstein: căutarea a ceea ce se află
dincolo de cuante / Lee Smolin; trad. din engleză
de Walter Fotescu. – București: Humanitas, 2023

Conține bibliografie

ISBN 978-973-50-8063-1

I. Fotescu, Walter (trad.)

53

EDITURA HUMANITAS

Piața Presei Libere 1, 013701 București, România

tel. 021/408 83 50, fax 021/408 83 51

www.humanitas.ro

Comenzi online: www.libhumanitas.ro

Comenzi prin e-mail: vanzari@libhumanitas.ro

Comenzi telefonice: 0723 684 194

Pentru Dina și Kai

Tot ce poate face un muzician este să se apropie de izvoarele naturii, iar astfel să simtă că este în comuniune cu legile naturii. — John Coltrane

Pot să afirm fără ezitare că nimeni nu înțelege mecanica cuantică. — Richard Feynman

Cuprins

Prefață.....	II
PARTEA I: O ortodoxie a irealului	
1. Naturii îi place să se ascundă.....	31
2. Cuantele.....	42
3. Cum se schimbă cuantele.....	53
4. Cum împart cuantele.....	65
5. Ce nu explică mecanica cuantică.....	85
6. Triumful antirealismului.....	92
PARTEA A II-A: Renașterea realismului	
7. Provocarea realismului: de Broglie și Einstein.....	123
8. Bohm: Realismul încearcă încă o dată.....	132
9. Colapsul fizic al stării cuantice.....	152
10. Realismul magic.....	167
11. Realismul critic.....	177
PARTEA A III-A: Dincolo de cuante	
12. Alternative la revoluție.....	207
13. Învățămintele.....	229
14. Mai întâi, principiile.....	248
15. O teorie cauzală a perspectivelor.....	276
Epilog/Revoluții: Notă pentru mine însumi.....	297
Mulțumiri.....	305
Note.....	309
Glosar.....	321
Bibliografie.....	329

Prefață

Noi, oamenii, am avut întotdeauna o problemă cu granița dintre realitate și fantezie. Pentru a ne explica lumea inventăm povești, iar apoi, fiindcă suntem buni povestitori, ne îndrăgostim de ele și confundăm reprezentările noastre asupra lumii cu lumea însăși. Confuzia aceasta îi afectează deopotrivă pe oamenii de știință și pe profani; de fapt, pe noi ne afectează mai mult, fiindcă avem povești atât de convingătoare în trusele noastre cu unelte.

Pe măsură ce înțelegem mai în profunzime lumea naturală, abordând fenomene mai mici și „mai elementare“, succesele noastre pun bariere în calea progreselor ulterioare. Pentru a evita să rămânem blocați, trebuie să contrabalansăm încrederea noastră pe deplin justificată în puterea cunoașterii atestate cu conștiința acută a faptului că până și ipotezele noastre în-cununate cu cel mai mare succes sunt, în fond, ipotetice. O lecție dură de învățat este că senzațiile sunt provocate în parte de realitate, dar sunt construite în întregime de creier pentru a ne prezenta lumea exact în forma de care avem nevoie pentru a ne croi drum prin natură. Dincolo de acele senzații, natura stă la pândă, esențialmente misterioasă și exact la limita cognoscibilului.

Cele mai importante trăsături ale naturii, așa cum le înțelegem acum, nu au fost percepute. Faptele generale cele mai simple pe care le cunoaștem despre lume – de pildă că materia

e alcătuită din atomi sau că Pământul e un strat sferic de rocă în jurul unui miez topit și învelit într-o atmosferă subțire, care se mișcă, suspendat într-un vid aproape desăvârșit, pe o orbită în jurul unui reactor termonuclear natural –, aceste fapte banale pe care le învățăm imediat ce părăsim leagănul sunt rezultatul a secole de eforturi intense ale cărturarilor și oamenilor de știință. Fiecare dintre aceste fapte a apărut ca o idee aproape nebunească, în contradicție cu o ipoteză mult mai evidentă și mai rezonabilă – dar greșită.

A avea o minte științifică înseamnă a respecta faptele asupra cărora există un consens, care sunt concluzia unor dispute de generații, menținând în același timp o minte deschisă față de lucrurile încă necunoscute. E util să avem un sentiment de smerenie în fața misterului esențial al lumii, fiindcă aspectele cunoscute devin încă și mai misterioase dacă le examinăm în profunzime. Cu cât știm mai mult, cu atât mai ciudat e totul. Nu există nici un lucru în natură atât de obișnuit, încât să nu ne poată crea un sentiment mut de uimire și recunoștință doar fiindcă suntem parte din toate acestea.

În dimineața aceasta de primăvară aerul care intră prin fereastra deschisă poartă mirosuri proaspete din grădină – dar prin ce miracol se întâmplă asta? Cum transformă un nas moleculele purtate de o adiere în acea mireasmă plăcută? Vedem culorile vii și ne aducem aminte că există o poveste despre felul în care lumina cu diferite lungimi de undă excită diferiți neuroni. Dar cum e posibil ca senzațiile de roșu sau albastru să fie provocate de excitarea diversilor neuroni? Ce fel de lucruri sunt senzațiile – *qualia*, cum le numesc filozofii – diferitelor culori sau ale diferitelor mirosuri? În ce fel se deosebesc mirosurile de culori, și de ce se deosebesc, dacă totul se reduce la impulsuri electrice în neuroni? Cine este eul care se trezește din somn și ce este universul care mă înconjoară atunci când deschid ochii? Faptele cele mai simple despre existența noastră și relația noastră cu lumea sunt mistere.

Să trecem tiptil de la întrebarea dificilă despre conștiință la întrebări mai simple. Ca om de știință, cred că aceasta e cea mai bună cale pentru a ajunge undeva. Să începem cu o întrebare fundamentală: Ce este materia? Fiul meu a lăsat o piatră pe masă. O ridic; greutatea și forma ei se potrivesc bine în mâna mea – cu siguranță o senzație străveche.

Dar ce este o piatră?

Știm cum arată piatra, cum o simțim. Dar asta e valabil pentru noi cel puțin la fel de mult ca pentru piatră. Prea puțin din aspectul sau senzația creată de o piatră oferă un indiciu despre ce constituie, în esență, existența unei pietre – faptul de a fi piatră. Știm că cea mai mare parte a pietrei e spațiu vid în care sunt aranjați atomii. Soliditatea și duritatea pietrei sunt construcții ale minții noastre, care integrează percepții la scări foarte mari în comparație cu dimensiunile atomilor.

Materia există în multe forme, dintre care unele – de pildă piatra sau materialul organic țesut în păturile, cearșafurile și hainele noastre – știm că trebuie să fie complexe. De aceea să considerăm mai întâi o formă mai simplă de materie: apa dintr-un pahar. Ce este ea?

Pentru ochii și atingerea noastră, apa pare continuă, fără întreruperi. Până relativ de curând, în urmă cu ceva mai mult de un secol, fizicienii credeau că materia este în întregime continuă. La începutul secolului XX, Albert Einstein a arătat că e fals, și că apa e formată din nenumărați atomi. În apă, aceștia sunt organizați în triplete, legați împreună în molecule, fiecare constând în doi atomi de hidrogen și unul de oxigen.

Da, dar ce este un atom? A fost nevoie de mai puțin de un deceniu după descoperirea lui Einstein pentru a se înțelege că fiecare atom e asemenea unui mic sistem solar, cu un nucleu în centru, în locul Soarelui, și planetele reprezentate de electroni.

Până aici toate bune, dar ce este un electron? Știm că electronii există în unități discrete, fiecare având o anumită masă și sarcină electrică. Un electron poate avea o poziție în spațiu.

El se poate mișca: dacă ne uităm acum, e aici; dacă ne uităm iarăși, e acolo.

Dincolo de acele atribute, nu-i ușor să descriem un electron. Va fi nevoie de o mare parte a acestei cărți.

Cea mai bună înțelegere despre ce sunt pietrele, ce este apa, ce sunt moleculele, atomii și electronii este exprimată de ramura științei numită *fizică cuantică*. Dar, după cum se pare că toată lumea știe deja, acesta e un domeniu plin de paradoxuri și mistere. Fizica cuantică descrie o lume în care nimic nu are o existență stabilă: un atom sau un electron poate fi o undă sau o particulă, în funcție de felul în care îl privim; pisicile sunt în același timp vii și moarte. E ceva grozav pentru cultura populară, care a făcut din cuvântul „cuantă“ un termen la modă pentru o mistificare șic, snoabă. Dar e groaznic pentru aceia dintre noi care vrem să înțelegem lumea în care trăim, fiindcă se pare că nu există un răspuns facil la întrebarea simplă „Ce este o piatră?“.

În primul sfert al secolului XX, o teorie numită *mecanică cuantică* a fost creată pentru a explica fizica cuantică. Teoria aceasta a fost, de la bun început, copilul de aur al științei. Ea stă la baza modului în care înțelegem atomii, radiația și atâtea altele, de la particulele elementare și forțele fundamentale la comportamentul materialelor. Ea a fost de asemenea, în tot acest timp, un copil-problemă. Încă de la început, inventatorii săi au fost profund divizați în privința interpretării sale. Unii s-au arătat șocați și neîncrezători, chiar indignați. Alții au declarat-o un gen nou și revoluționar de știință, care demola suzuki pozițiile metafizice despre natură și relația noastră cu ea, pe care generațiile anterioare le consideraseră esențiale pentru succesul științei.

În aceste capitole sper să vă conving că problemele conceptuale și furtunoasele dezacorduri care au afectat mecanica cuantică încă de la începuturile ei sunt nerezolvate și nerezolvabile, din simplul motiv că teoria e greșită. Este o teorie

de mare succes, dar incompletă. Sarcina noastră – dacă vrem să avem răspunsuri simple la întrebările noastre simple despre pietre – trebuie să meargă dincolo de mecanica cuantică, la o descriere inteligibilă a lumii la scara atomilor.

Această sarcină ar putea să pară copleșitor de dificilă, dacă nu ar exista un aspect aproape uitat și mult timp ignorat al istoriei mecanicii cuantice. Încă de la începuturile erei cuantice, în anii 1920, a existat o versiune alternativă a mecanicii cuantice care e perfect inteligibilă. Această teorie obscură rezolvă aparentele paradoxuri și mistere ale domeniului cuantic. Scandalul – și cred că termenul e justificat – este că această formă alternativă a teoriei cuantice e rareori predată. Ea este rareori menționată, atât în manualele pentru fizicienii în formare, cât și în cărțile de popularizare adresate publicului larg.

Există mai multe formulări coerente ale fizicii cuantice. Provocarea este acum ca, pornind de la ele, să găsim modul corect de a înțelege fizica cuantică – cea folosită de natură. Cred că asta va avea repercusiuni ample, deoarece noua formă a fizicii cuantice va fi baza pentru soluțiile multor probleme nerezolvate din fizică. Probleme precum gravitația cuantică și unificarea forțelor, în privința cărora am făcut puține progrese hotărâtoare, s-au împotmolit, cred eu, fiindcă la baza speculațiilor noastre e o teorie incorectă.

Fizicienii sunt de acord în privința felului în care se comportă lumea cuantică. Suntem de acord că atomii și radiația se comportă altfel decât pietrele și pisicile, și suntem de acord că mecanica cuantică reușește să prezică unele aspecte ale aceluși comportament. Dar nu cădem de acord asupra semnificației afirmației că lumea noastră e o lume cuantică. Este limpede că avem nevoie de o schimbare radicală a modului de a înțelege natura, dar nu cădem de acord asupra acelei schimbări care trebuie făcută. Unii susțin că trebuie să renunțăm la orice imagine a realității și să adoptăm o teorie care descrie numai cunoașterea pe care o putem dobândi despre lume. Alții afirmă

că ideea noastră de realitate trebuie mult extinsă pentru a cuprinde o infinitate de realități paralele.

De fapt, nu-i nevoie de nici una din acestea. Diferitele moduri de a înțelege lumea cuantică nu ne pretind să renunțăm la ideea că fizica descrie o realitate independentă de cunoașterea noastră asupra ei. Nici nu ne cer să extindem acea realitate dincolo de ideea de bun-simț că există o singură lume, cea pe care o vedem atunci când privim în jur. Așa cum voi explica în aceste pagini, nimic din ce știm despre fizica cuantică nu amenință de fapt realismul simțului comun, potrivit căruia știința poate aspira să ofere o imagine completă a lumii naturale așa cum este, sau cum ar fi în absența noastră.

Este prin urmare regretabil și inutil faptul că s-a spus despre târâmul cuantic că e misterios și contraintuitiv. Unul din scopurile cărții de față e să prezint publicului larg diferitele teorii cuantice, iar astfel să elimin misterul și să prezint lumea cuantică într-un mod intuitiv și accesibil acelor care nu sunt specialiști în fizică.

Îmi închipui că cititorul meu are o curiozitate vie în privința naturii, se interesează de știință prin intermediul știrilor, blogurilor și cărților de popularizare, dar n-a studiat matematica, despre care se presupune că este limbajul fizicii. Folosesc în schimb cuvinte și imagini pentru a reprezenta fenomenele fundamentale întâlnite în lumea cuantică și principiile inspirate de studiul lor. După o introducere, cartea începe cu trei scurte capitole care descriu bazele fizicii cuantice. Acestea ne vor echipa pentru a explora diversele universuri conceptuale ce rezultă din diferitele forme ale teoriei cuantice care au fost propuse.

Care e miza în controversa privind mecanica cuantică? Ce importanță are dacă teoria noastră fundamentală despre lumea naturală e misterioasă și paradoxală?

În spatele acestei controverses asupra mecanicii cuantice veche de un secol se află un dezacord fundamental în privința naturii realității – dezacord care, nerezolvat, ajunge să fie discutată despre natura științei.

Două întrebări stau la baza schismei.

În primul rând, lumea naturală există independent de mintea noastră? Mai precis, are materia, în sine și din sine, un set de proprietăți stabile, fără legătură cu percepțiile și cunoașterea noastră?

În al doilea rând, putem noi înțelege și descrie acele proprietăți? Putem înțelege în suficientă măsură legile naturii pentru a explica istoria universului și a-i prezice viitorul?

Răspunsurile la aceste două întrebări au consecințe legate de întrebările mai ample despre natura și scopul științei, și rolul științei în proiectul uman mai general. Acestea sunt, într-adevăr, întrebări legate de granița dintre realitate și fantezie.

Oamenii care răspund cu da la aceste două întrebări se numesc realiști. Einstein a fost realist. Eu sunt de asemenea realist. Noi, realiștii, credem că există o lume reală în afara noastră, ale cărei proprietăți nu depind în nici un fel de cunoașterea sau percepția noastră asupra ei. Aceasta e natura – așa cum ar fi, și cum în cea mai mare parte este, în absența noastră. Credem de asemenea că lumea poate fi înțeleasă și descrisă suficient de precis pentru a explica modul în care se comportă orice sistem în lumea naturală.

Dacă ești realist, crezi că știința e căutarea sistematică a acelei explicații. Aceasta se bazează pe o noțiune naivă de adevăr. Afirmatiile despre obiecte sau sisteme din natură sunt adevărate în măsura în care corespund unor proprietăți autentice ale naturii.

Dacă răspunzi cu nu la una sau la ambele întrebări, ești anti-realist.

Majoritatea oamenilor de știință sunt realiști în privința obiectelor la scară umană. Lucrurile pe care le putem vedea,

ridica și arunca au proprietăți simple și ușor de înțeles. Ele există în fiecare moment undeva în spațiu. Când se mișcă, ele urmează o traiectorie, iar pe acea traiectorie ele au, în raport cu cineva care le descrie, o viteză bine determinată. Ele au masă și greutate.

Când îi spui partenerului tău că agenda roșie pe care o cauți e pe masă, te aștepți ca asta să fie pur și simplu adevărat sau fals, absolut independent de cunoașterea sau percepția noastră.

Descrierea materiei la acest nivel, de la cele mai mici dimensiuni pe care le putem vedea cu ochiul liber până la stele și planete, se numește fizica clasică. Ea a fost inventată de Galilei, Kepler și Newton. Teoriile relativității ale lui Einstein sunt realizările sale supreme.

Dar nu-i ușor, sau evident, pentru noi să fim realiști în privința materiei la scara atomilor individuali, iar asta din cauza mecanicii cuantice.

Mecanica cuantică este în prezent cea mai bună dintre teoriile noastre asupra naturii la scară atomică. Ea are, așa cum am sugerat deja, anumite trăsături deconcertante, care, conform unei credințe larg răspândite, exclud realismul. Altfel spus, mecanica cuantică ne cere să răspundem negativ la una sau la ambele întrebări puse mai sus. În măsura în care mecanica cuantică este descrierea corectă a naturii, suntem obligați să abandonăm realismul.

Majoritatea fizicienilor nu sunt realiști în privința atomilor, a radiației și a particulelor elementare. Credința lor, de cele mai multe ori, nu decurge din dorința de a respinge realismul pe baza unor poziții filozofice radicale, ci din convingerea că mecanica cuantică e corectă. Iar ei cred, așa cum au fost învățați, că mecanica cuantică exclude realismul.

Dacă e adevărat că mecanica cuantică ne cere să renunțăm la realism, atunci, dacă ești realist, trebuie să crezi că mecanica cuantică e falsă. Poate că temporar are succes, dar nu poate fi descrierea întru totul corectă a naturii la scară atomică. Asta