

**RĂTĂCIȚI
PRINTRE
FORMULE**

Sabine Hossenfelder este cercetător asociat la Institutul de Studii Avansate din Frankfurt și creatoarea popularului blog de fizică *Backreaction*. A scris pentru *New Scientist*, *Scientific American* și *NOVA*. Este editorul volumului colectiv *Experimental Search for Quantum Gravity*.

SABINE HOSSENFELDER

**RĂTĂCIȚI
PRINTRE
FORMULE**

**CUM ÎI DERUTEAZĂ
FRUMUSEȚEA PE FIZICIENI**

Traducere din engleză
de Radu Slobodeanu

 HUMANITAS
BUCUREȘTI

Mamei mele

Misterul cerului te înfioară,
Iar eu mi-am putut închipui
Că m-aș lăsa fascinată
Când furia mi s-ar domoli

Sarah McLachlan, *Tăcere*

Cuprins

Prefață	9
1. Regulile ascunse ale fizicii	11
2. O lume minunată	29
3. Ce mai e nou cu unificarea	56
4. Fisuri la nivelul fundamentelor	85
5. Teorii ideale	108
6. Incomprehensibila comprehensibilitate a mecanicii cuantice	142
7. O singură regulă pentru toate	162
8. Spațiul, ultima frontieră	198
9. Universul, tot ce există și restul	225
10. Cunoașterea este putere	255
Mulțumiri	273
Anexa A: Modelul standard al fizicii particulelor	275
Anexa B: Problema naturalității	277
Anexa C: Cum poți fi de folos	280
Note	285

Prefață

Erau atât de siguri, au pariat miliarde pe asta. Decenii de-a rândul fizicienii ne-au spus că știu de unde vor veni următoarele descoperiri. Au construit acceleratoare, au lansat sateliți în spațiu, au plasat detectori în subterane. Lumea s-a pregătit să-și sporească invidia față de fizică. Dar de acolo de unde fizicienii așteptau să vină o mare descoperire nu s-a întrezărit nimic. Experimentele n-au scos la iveală nimic nou.

Nu matematica i-a împins pe fizicieni spre eșec, ci alegerea pe care au făcut-o în privința matematicii. Au crezut că Mama Natură e elegantă, simplă și oferă, binevoitoare, indicii. Au crezut că-i înțeleg șoaptele, când de fapt vorbeau cu ei înșiși. Acum Natura a vorbit, dar n-a spus nimic deslușit.

Fizica teoretică e o disciplină despre care toată lumea știe că este dificilă matematic și greu de înțeles. Dar, pentru o carte despre matematică, aceasta conține foarte puțină matematică. Odată ce dăm la o parte ecuațiile și termenii tehnici, fizica rămâne căutarea semnificației – o căutare care a luat o întorsătură neașteptată. Indiferent care sunt legile ce guvernează universul, ele nu sunt acelea despre care credeau fizicienii că ar fi. Nu sunt acelea despre care credeam eu că ar fi.

Rătăciți printre formule e povestea felului în care judecata estetică îndrumă cercetarea contemporană. Este povestea mea, o reflecție despre ce am fost învățată. Dar e și povestea multor altor fizicieni care s-au confruntat cu aceeași neliniște: noi credem că legile naturii sunt frumoase, dar a crede nu este oare ceva ce un om de știință n-ar trebui să facă?

Regulile ascunse ale fizicii

*În care îmi dau seama că nu mai înțeleg fizica.
Discut cu prieteni și colegi, văd că nu sunt sin-
gura care e derutată, și mă hotărâsc să aduc
rațiunea înapoi pe Pământ.*

DILEMA UNUI BUN OM DE ȘTIINȚĂ

Inventez noi legi ale naturii, iată cu ce îmi câștig existența. Sunt unul dintre cei aproape zece mii de cercetători a căror sarcină e să îmbunătățească teoriile din fizica particulelor. În templul cunoașterii, noi suntem cei care lucrăm la subsol și testăm fundația. Inspectăm fisurile, neajunsurile suspecte ale teoriilor existente, iar când găsim ceva, îi chemăm pe experimentatori să dezgroape straturi și mai adânci. În ultimul secol, această diviziune a muncii între teoreticieni și experimentatori a funcționat foarte bine. Dar generația mea a avut neașteptat de puțin succes.

După douăzeci de ani de fizică teoretică, cei mai mulți dintre cei pe care îi cunosc fac o carieră din studierea unor lucruri pe care nimeni nu le-a văzut. Născocesc teorii care te lasă cu gura căscată, precum ideea că universul nostru nu este decât unul dintr-o infinitate care, împreună, formează „multiversul“. Inventează zeci de noi particule, declară că suntem proiecții dintr-un spațiu cu mai multe dimensiuni și că acel spațiu e presărat cu găuri de vierme care leagă regiuni îndepărtate.

Aceste idei sunt cât se poate de controversate, dar din ce în ce mai populare, speculative, dar interesante, atrăgătoare, dar inutile. Cele mai multe sunt atât de greu de testat experimental,

încât sunt practic netestabile. Altele sunt chiar și teoretic netestabile. Ce au ele în comun e faptul că sunt susținute de teoreticieni convinși că matematica lor conține un grăunte de adevăr despre natură. Teoriile lor, cred ei, sunt prea bune ca să nu fie adevărate.

Inventarea de noi legi ale naturii – construirea teoriilor – nu se predă la cursuri, nici nu e explicată în manuale. Se poate învăța ceva din ea studiind istoria științei, dar în cea mai mare parte fizicienii o „fură“ de la colegii lor mai în vârstă, de la prieteni sau mentori, îndrumători sau referenți. Transmisă din generație în generație, cea mai mare parte din ea provine din experiență, din intuiția cu greu dobândită privind ceea ce poate funcționa sau nu. Când li se cere să evalueze promisiunile unei teorii nou apărute, dar încă netestate, fizicienii recurg la noțiuni precum caracter natural, simplitate (sau eleganță) și frumusețe. Aceste reguli ascunse se găsesc pretutindeni în fundamentele fizicii. Sunt foarte prețioase și... intră în contradicție cu preceptul obiectivității științifice.

Criteriile ascunse ne-au adus deservicii. Chiar dacă am propus o mulțime de noi legi ale naturii, ele au rămas toate neconfirmate. Iar pe când vedeam cum profesia mea se îndreaptă spre o criză gravă, am căzut pradă eu însămi unei crize personale. Nu mai sunt sigură că ceea ce facem noi aici, la baza fizicii, e știință. Și dacă nu este, de ce îmi pierd timpul cu asta?

*

M-am îndreptat spre fizică pentru că nu înțeleg comportamentul uman. Am ales fizica pentru că aici matematica îți spune cum stau lucrurile. Mi-au plăcut limpezimea, mecanismele neambigue, controlul pe care matematica îl deține asupra naturii. Două decenii mai târziu, ceea ce mă împiedică să înțeleg fizica e tot faptul că nu înțeleg comportamentul uman.

„Nu putem formula reguli precise care să ne spună ce face ca o teorie să fie atrăgătoare și alta nu“, spune Gian Francesco

Giudice. „Totuși, e uimitor cum frumusețea și eleganța unei teorii sunt general recunoscute de oameni din culturi diferite. Când îți spun «Uite, am scris un nou articol și teoria mea e frumoasă», nu trebuie să-ți dau toate detaliile teoriei mele, te vei prinde de ce sunt atât de încântat, nu-i așa?»

Nu, nu mă prind. De asta și discut cu el. De ce ar trebui ca legilor naturii să le pese de ce mi se pare mie frumos? Această legătură dintre mine și univers mi se pare aproape mistică sau, în orice caz, foarte romantică și străină de mine. Dar Gian nu crede că naturii îi pasă de ce mi se pare *mie* că e frumos, ci de ce i se pare *lui* că e frumos. „De cele mai multe ori e o chestie de instinct“, spune el, „nimic care să fie matematic măsurabil: este ceea ce se numește intuiție fizică. E o diferență importantă între felul în care percep frumusețea fizicienii și matematicienii. Ceea ce face ca o teorie fizică să fie de succes și frumoasă este doza perfectă între explicarea unor fapte empirice și folosirea principiilor fundamentale.“

Gian este directorul departamentului teoretic din cadrul CERN, Consiliul European pentru Cercetare Nucleară. La CERN funcționează la ora actuală cel mai mare accelerator de particule, LHC, instrumentul cu care omenirea poate privi cel mai de aproape, deocamdată, elementele care alcătuiesc materia: un inel subteran de 6 miliarde de dolari și 25 de kilometri lungime, care accelerează protonii și îi face să se ciocnească la viteze apropiate de viteza luminii.

LHC este o sumă de extreme: magneți superconductori răciți până aproape de zero absolut, vid ultraînalt, supercomputere care, în timpul experimentelor, înregistrează circa 3 gigabyți pe secundă (echivalentul a câteva mii de cărți în format electronic). LHC a adus laolaltă mii de oameni de știință, zeci de ani de cercetare și miliarde de componente high-tech – toate pentru un singur scop: să dezvăluie din ce suntem alcătuiți.

„Fizica e un joc subtil“, continuă Gian, „iar ca să-i descoperi regulile e nevoie nu doar de rațiune, ci și de discernământ

subiectiv. Pentru mine, acest aspect nerațional face ca fizica să fie plăcută și pasionantă.“ Îl sun din apartamentul meu, înconjurată de cutii de carton. Contractul meu la Stockholm s-a încheiat; e timpul să mă mut și să „vânez“ un nou grant de cercetare.

Când mi-am terminat studiile credeam că această comunitate va fi un fel de cămin, ca o familie în care toți suntem cercetători, gândim asemănător, vrem să înțelegem natura. Apoi însă m-am înstrăinat tot mai mult de colegii mei care, pe de o parte, predică importanța unei judecăți empirice imparțiale, iar pe de alta folosesc criteriile estetice ca să-și apere teoriile favorite.

„Când ai găsit soluția unei probleme la care ai tot lucrat, simți euforia asta“, spune Gian. „E momentul în care începi brusc să vezi structura ivită din spatele raționamentului tău.“ Cercetările lui Gian sunt concentrate asupra elaborării de noi teorii în fizica particulelor, care să rezolve aspectele problematice din teoriile actuale. El e primul care a propus o metodă de a cuantifica gradul în care o teorie e naturală, o măsură matematică din care rezultă cât de mult se bazează o teorie pe coincidențe improbabile.¹ Cu cât o teorie e mai naturală, cu atât are mai puțin nevoie de coincidențe, și cu atât e mai atrăgătoare.

„Senzația că o teorie fizică e frumoasă trebuie să fie ceva imprimat în creierul nostru, nu un construct social. Este ceva ce face să rezoneze o coardă interioară“, spune el. „Când cazi peste o teorie frumoasă, resimți aceeași emoție ca în fața unei opere de artă.“

Știu despre ce vorbește, dar nu înțeleg de ce contează asta. Mă îndoiesc că simțul meu estetic e o călăuză demnă de încredere în descoperirea legilor fundamentale ale naturii, legi care dictează comportamentul unor entități la care nu am nici un acces senzorial, nu am avut și nu voi avea vreodată. Ca să fi fost imprimat în creierul meu, acest simț ar fi trebuit să fi fost benefic în cursul selecției naturale. Dar ce avantaj evolutiv poate decurge din capacitatea de a înțelege gravitația cuantică?

Și dacă a crea frumosul e un meșteșug artistic venerabil, știința nu este o artă. Nu căutăm teorii care să trezească emoție; căutăm explicații pentru ceea ce observăm. Știința e o întreprindere concepută să depășească neajunsurile percepției umane și să evite capcanele intuiției. Știința nu ține de emoție, ci de numere și ecuații, date și grafice, fapte și logică. Cred că mi-aș fi dorit să mă contrazică.

Când l-am întrebat despre ultimele date de la LHC, mi-a spus: „Suntem foarte derutați.“ În sfârșit, ceva ce pot înțelege.

EȘEC

În primii ani de funcționare, LHC a scos la iveală, conștiincios, o particulă numită bosonul Higgs, a cărei existență fusese prezisă în anii 1960. Eu și colegii mei aveam mari speranțe că acest proiect de un miliard de dolari va face mai mult decât să confirme ceva de care, oricum, nimeni nu se îndoia. Găsiserăm și câteva fisuri interesante la nivel teoretic, care ne convinseseră că LHC ar crea și alte particule, neobservate până acum. Ne-am înșelat. LHC n-a văzut nimic care să poată susține recent inventatele noastre legi ale naturii.

Prietenii noștri astrofizicieni n-au avut mai mult noroc. În anii 1930 ei descoperiseră că roiurile de galaxii conțin mult mai multă masă decât cea dată de toată materia vizibilă la un loc. Chiar și ținând cont de gradul mare de imprecizie a datelor, un nou tip de „materie întunecată“ e necesar pentru a explica aceste observații. Dovezile privind atracția gravitațională a materiei întunecate s-au tot adunat, așa încât putem spune că suntem siguri că ea există. Din ce e alcătuită ramâne însă un mister. Astrofizicienii cred că este un tip de particulă inexistentă pe Pământ, care nici nu absoarbe, nici nu emite lumină. Ei s-au gândit la noi legi ale naturii, teorii neconfirmate, care să îndrume construirea detectorilor meniți să le testeze ideile.

Începând cu anii 1980, zeci de echipe de cercetare au vânat aceste ipotetice particule de materie întunecată. Și nu le-au găsit. Noile teorii au rămas neconfirmate.

Situația e la fel de sumbră în cosmologie, unde fizicienii încearcă în zadar să înțeleagă ce face ca universul să fie în expansiune accelerată, o observație pusă pe seama „energiei întunecate“, de data asta. Ei pot demonstra matematic că acest substrat straniu nu-i decât energia spațiului gol, și totuși nu pot calcula acea cantitate de energie. Este una dintre fisurile la nivelul fundamentelor prin care fizicienii încearcă să privească, dar până acum n-au reușit să vadă nimic care să le susțină noile teorii menite să explice energia întunecată.

În același timp, în zona fundamentelor cuantice, colegii noștri încearcă să îmbunătățească o teorie care nu are absolut nici o hibă. Ei se bazează pe convingerea că ceva nu e în regulă cu structurile matematice care nu corespund entităților măsurabile. Îi supără faptul că „nimeni nu înțelege mecanica cuantică“, plângere formulată și de Richard Feynman, Niels Bohr și alți eroi ai fizicii secolului trecut. Cercetătorii fundamentelor cuantice vor să inventeze teorii mai rafinate, crezând, ca toți ceilalți, că lucrează la fisura cea bună. Din păcate, toate experimentele validează predicțiile acestei teorii de neînțeles din secolul trecut. Dar teoriile noi? Ele rămân speculații netestate.

Un uriaș efort s-a făcut pentru aceste încercări eșuate de a găsi noi legi ale naturii. Dar de mai bine de treizeci de ani nu suntem în stare să îmbunătățim fundamentele fizicii.

*

Vreți să știți ce ține lucrurile laolaltă, cum a luat naștere universul și care sunt legile ce guvernează existența noastră? Ca să aveți un răspuns cât mai exact, urmați firul faptelor până jos, în „subsolul“ științei. Continuați până când faptele se împuținează, iar călătoria e oprită de teoreticieni în dispută de-

spre a cui teorie e mai frumoasă. Atunci veți ști cu siguranță că ați ajuns la fundamente.

Fundamentele fizicii sunt acele ingrediente ale teoriilor noastre care, după câte știm în prezent, nu pot fi deduse din ceva mai simplu. La nivelul cel mai profund, avem spațiul, timpul și 25 de particule, împreună cu ecuațiile care le dictează comportamentul. Obiectul domeniului meu de cercetare sunt deci particule care se deplasează în spațiu și timp, iar din când în când se ciocnesc sau formează particule compuse. Nu vi le imaginați ca pe niște mici bile (nu pot fi așa din cauza legilor mecanicii cuantice, după cum vom vedea mai târziu), ci ca pe niște norișori care pot lua orice formă.

În fizica fundamentală avem de-a face numai cu particule care nu pot fi descompuse, pe care le numim deci „particule elementare“. Din câte știm în prezent, ele nu au o substructură. Dar particulele elementare se combină pentru a forma atomi, molecule, proteine, iar astfel dau naștere structurii extrem de diverse pe care o vedem în jur. Din aceste 25 de particule suntem făcuți și eu, și voi și orice altceva din univers.

Dar nu particulele în sine sunt neapărat interesante. Interesante sunt relațiile dintre ele, principiile care determină interacția lor, structura legilor care au dat naștere universului și au făcut posibilă existența noastră. În acest joc, ne interesează nu atât piesele, cât mai cu seamă regulile. Iar cel mai important lucru pe care l-am aflat este că natura joacă după regulile matematicii.

ALCĂTUIT DIN MATEMATICĂ

În fizică, teoriile sunt alcătuite din matematică. Nu folosim matematica pentru că am vrea să-i speriem și să-i ținem departe pe cei nefamiliarizați cu geometria diferențială sau algebrele