

Titlu original: THE UNIVERSE SPEAKS IN NUMBERS. How Modern Maths Reveals Nature's Deepest Secrets

Carte publicată prima dată în Marea Britanie în anul 2019 de către
Faber & Faber Ltd
Bloomsbury House
74-77 Great Russell Street
Londra WC1B 3DA

Toate drepturile rezervate © Graham Farmelo, 2019

Carte publicată prin aranjament cu Simona Kessler & Associate Agency SRL

© 2021 by Editura Lebăda Neagră
pentru prezenta ediție în limba română

Această carte este protejată de legile copyrightului. Reproducerea, multiplicarea, punerea la dispoziția publică, precum și alte fapte similare săvârșite fără permisiunea deținătorului copyrightului constituie încălcări legislative cu privire la protecția proprietății intelectuale și se pedepsesc în conformitate cu legile în vigoare.

www.blackswanpublishing.ro

Editura Lebăda Neagră
Iași, B-dul Chimiei nr. 2, bl. C1, et. 2, ap. 22, 700391

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
FARMELO, GRAHAM

Universul vorbește prin numere : cum dezvăluie matematica modernă cele mai ascunse secrete ale naturii / Graham Farmelo ; trad. din lb. engleză de Irina Moisoiu. - Iași : Lebăda Neagră, 2021

ISBN 978-606-9682-13-5

I. Moisoiu, Irina (trad.)

GRAHAM FARMELO

UNIVERSUL VORBEȘTE PRIN NUMERE

Cum dezvăluie matematica modernă
cele mai ascunse secrete ale naturii

Traducere din limba engleză de Irina Moisoiu

Lebăda Neagră
Iași, 2021

Cuprins

Prolog: Ascultând Universul	11
1: Matematica alungă norii	21
2: Luminând calea electricității și a magnetismului	45
3: Luminând calea gravitației din nou	71
4: Matematica cuantică	95
5: Lungul divorț	117
6: Revoluția	145
7: O companie rea?	163
8: Glumele și magia conduc spre corzi	183
9: Înșiruite împreună	207
10: Găsirea propriului drum prin mileniu	229
11: Diamante neșlefuite	253
Concluzii: Cele mai bune timpuri posibile	279
Mulțumiri	295
Referințe	299
Arhive	312
Note	313
Index	347

Prolog Ascultând Universul

„Consider că este adevărat că gândirea pură poate înțelege realitatea, așa cum au visat anticii.”

Albert Einstein,
Despre metoda fizicii teoretice, 1933

„Einstein este complet nebun.” Așa l-a descris tânărul încrezut Robert Oppenheimer pe cel mai faimos om de știință din lume la începutul anului 1935, după ce l-a vizitat la Princeton¹. Einstein încerca de zece ani să elaboreze o nouă teorie ambițioasă în moduri care demonstau, în opinia lui Oppenheimer și a altora, că înțeleptul de la Princeton pierduse din vedere subiectul. Einstein ignora practic progresele făcute în înțelegerea materiei la cea mai mică scară, folosind teoria cuantică. El căuta o nouă teorie ambițioasă, nu ca răspuns la descoperirile experimentale încurcate, ci ca un exercițiu intelectual – folosindu-și doar imaginația, susținută de matematică. Deși această abordare era nepopulară între colegii săi, el inaugura o metodă similară cu cea pe care unii dintre cei mai remarcabili succesori ai săi o folosesc acum cu succes la frontierele cercetării.

Oppenheimer și mulți alți fizicieni din acea perioadă nu pot fi blamați fiindcă au crezut că abordarea matematică a lui Einstein era sortită eșecului: pe de o parte, părea să contrazică una dintre principalele lecții din ultimii 250 de ani de cercetare științifică, și anume că este neînțelept să încerci să înțelegi lucrările naturii

folosind gândirea pură, așa cum credeau Platon și alți gânditori. Judecata convențională era că fizicienii ar trebui să asculte cu atenție ce le spune universul despre teoriile lor, prin rezultatele observațiilor și experimentelor făcute în lumea reală. În acest fel, teoreticienii pot evita să se amăgească în a crede că știu mai multe despre natură decât știu de fapt.

Einstein știa ce face, desigur. De la începutul anilor '20, el a susținut adesea că experiența îl învățase că o strategie matematică era cea mai bună speranță de a progresa către obiectivul său principal: descoperirea legilor profund fundamentale ale naturii. În anul 1925, i-a spus tinerei studente Esther Salaman: „Vreau să știu cum a creat Dumnezeu această lume. Nu mă interesează acest fenomen sau acela, [proprietățile] acestui sau acelui element. Vreau să-l cunosc gândurile Lui, restul sunt detalii”². Din punctul său de vedere, „sarcina supremă a fizicianului” era să înțeleagă ordinea care stă la baza funcționării întregului cosmos – de la comportamentul particulelor minuscule care circulă în interiorul atomilor până la convulsiile galaxiilor în spațiul cosmic³. Însuși faptul că în spatele diversității și al complexității universului există o ordine relativ simplă nu era, în opinia lui Einstein, nimic altceva decât un „miracol sau un mister etern”⁴.

Matematica a oferit un mod incomparabil de precis de a exprima această ordine de bază. Fizicienii și predecesorii lor au reușit să descopere legi universale – stabilite în limbaj matematic – ce se aplică nu numai aici și acum pe Pământ, ci pentru orice, oriunde, de la începutul timpului până la viitorul cel mai îndepărtat. Teoreticienii, inclusiv Einstein, care urmăresc acest program pot fi acuzați într-o manieră destul de rezonabilă de orgoliu superior, deși nu și de lipsă de ambiție.

Potențialul matematicii de a ajuta la descoperirea noilor legi ale naturii a devenit obsesia lui Einstein. El și-a expus pentru prima dată abordarea matematică a cercetării fizice în primăvara

anului 1933, când a ținut o prelegere specială pentru un public din Oxford. Vorbind încet și încrezător, el i-a îndemnat pe teoreticieni să nu încerce să descopere legile fundamentale pur și simplu răspunzând la noi descoperiri experimentale – metoda ortodoxă –, ci să se inspire din matematică. Această abordare era atât de radicală, încât probabil i-a uimit pe fizicienii care au participat la prezentarea sa, chiar dacă niciunul nu a îndrăznit să-l contrazică. El le-a spus că practică ceea ce propovăduiește, folosind o abordare matematică pentru a combina teoria gravitației cu teoria electricității și a magnetismului. Acest obiectiv putea fi atins, credea el, prin încercarea de a-i prezice structura matematică – matematica celor două teorii a fost cel mai puternic indiciu care a dus spre teoria care le-a unit.

După cum știa bine Einstein, o strategie matematică de acest tip nu ar funcționa în majoritatea celorlalte discipline științifice, deoarece teoriile lor nu sunt încadrate în limbajul matematic. Când Charles Darwin și-a expus teoria evoluției prin selecție naturală, de exemplu, nu a folosit deloc matematica. În mod similar, în prima descriere a teoriei derivei continentale, Alfred Wegener a folosit doar cuvinte. Un potențial neajuns al unor astfel de teorii este că cuvintele pot fi perfide – vagi și supuse unei interpretări greșite –, în timp ce conceptele matematice sunt precise, bine definite și pot fi dezvoltate în mod logic și creativ. Einstein credea că aceste calități erau un avantaj pentru fizicienii teoretici, care ar trebui să profite din plin de ele. Puțini dintre colegii săi au fost de acord – chiar și cei mai înflăcărați admiratori ai săi l-au ridiculizat. Prietenul său sarcastic, Wolfgang Pauli, a ajuns să-l acuze că a renunțat la fizică: „Ar trebui să te felicit (sau ar trebui să spun că îți prezint condoleanțe?) că ai trecut la matematica pură... Nu te voi provoca să mă contrazici, pentru a nu amâna moartea teoriei tale [actuale]”⁵. Ignorând astfel de comentarii, Einstein a continuat pe drumul său singuratic,

deși munca sa nu prea dădea roade: devenise Don Quijote al fizicii moderne⁶. După ce a murit în 1955, consensul dintre fizicienii de frunte a fost că eșecul abject al demersului său i-a justificat criticii, dar această judecată s-a dovedit prematură.

Deși Einstein a greșit tratând superficial progresele din teoriile materiei la nivel subatomic, el a fost într-o privință mai inovator decât numeroșii săi detractori. La mijlocul anilor '70, la douăzeci de ani de la moartea sa, mai mulți fizicieni de seamă îi călcau pe urme, încercând să folosească gândirea pură – susținută de matematică –, să se bazeze pe teorii bine stabilite, dar imperfecte. În acea perioadă, eram un proaspăt student absolut, precaut în legătură cu această strategie cerebrală și aproape convins că era perversă și nu se îndrepta nicăieri. Mi s-a părut evident că cea mai bună cale de urmat pentru teoreticieni era să fie ghidați de descoperiri experimentale. Aceasta era metoda ortodoxă și a funcționat foarte bine pentru teoreticienii care au dezvoltat teoria modernă a forțelor subatomice. Mai târziu cunoscut drept modelul standard al fizicii particulelor, a fost un lucru de mirare: bazat doar pe câteva principii simple, a înlocuit rapid toate încercările anterioare de a descrie comportamentul particulelor subatomice. A explicat cu generozitate funcționarea interioară a fiecărui atom. Ceea ce nu am apreciat pe deplin în acel moment a fost cât de norocos eram să stau în rândul din spate al sălii, urmărind desfășurarea unei drame contemporane monumentale.

În acei ani, îmi amintesc că am participat la zeci de seminare despre noi teorii exotice care arătau impresionant, dar care erau de acord doar aproximativ cu experimentele. Cu toate acestea, susținătorii lor erau în mod evident încrezători că erau pe urma a ceva, în parte pentru că teoriile prezentau o nouă matematică interesantă. Pentru mine, acest lucru mi s-a părut un mod ciudat

de cercetare a fizicii – m-am gândit că era mult mai bine să ascult ce ne spunea natura, nu în ultimul rând pentru că nu minte niciodată.

Am simțit că bate un nou vânt și, după câte mi-am putut da seama, mergea într-o direcție matematică neatrăgătoare. În particular, mă așteptam ca tendința să se stingă, dar din nou am greșit. La începutul anilor '80, vântul a adunat impuls, deoarece fluxul de informații noi din experimente pe particule și forțe subatomice a încetinit de la un șuvoi la o picătură. Din acest motiv, mai mulți teoreticieni s-au orientat către raționamentul pur, completat de matematică. Aceasta a dus la o nouă abordare a fizicii fundamentale – teoria corzilor, care aspiră să ofere o relatare unificată a naturii la cel mai bun nivel presupunând că elementele constituente de bază ale universului nu sunt particule, ci mici bucăți de corzi. Teoreticienii au făcut progrese cu teoria, dar, în ciuda unui efort uriaș, nu au putut face nici măcar o singură predicție pe care experimentatorii să o poată verifica. Scepticii ca mine au început să creadă că teoria se va dovedi doar o ficțiune științifică matematică.

Totuși, mi s-a părut frapant faptul că mulți dintre principalii fizicieni teoretici nu au fost descurajați de absența flagrantă a sprijinului experimental direct. De nenumărate ori, au subliniat potențialul teoriei, precum și amploarea și profunzimea minunate ale conexiunilor sale cu matematica, dintre care multe au fost revelatoare chiar și pentru matematicienii de talie mondială. Această bogăție a contribuit la schimbarea colaborărilor dintre fizicienii teoreticieni și matematicieni într-o viteză și mai mare și a generat o mulțime de rezultate extraordinare, în special pentru matematicieni. Era mai clar ca oricând nu numai că matematica este indispensabilă fizicii, ci și faptul că fizica este indispensabilă matematicii.

Această împletire a matematicii și fizicii părea să exemplifice punctul de vedere exprimat în anii '30 de fizicianul Paul Dirac, descris uneori drept „teoreticianul teoreticii”⁷. El credea că fizica fundamentală avansează prin teoriile creșterii frumuseții matematice⁸. Această tendință l-a convins – ca „o chestiune de credință, și nu de logică” – că fizicienii trebuie să caute întotdeauna exemple de matematică frumoasă⁹. A fost ușor de văzut de ce acest crez a avut un farmec special pentru experții în corzi: teoria lor avea o frumusețe matematică impresionantă, așadar, conform modului de gândire al lui Dirac, deținea o promisiune uriașă.

Ascendența teoriei corzilor a făcut mult pentru a oferi fizicii fundamentale moderne o nuanță matematică accentuată. Michael Atiyah, un strălucit matematician care și-a schimbat atenția asupra fizicii teoretice, a scris mai târziu provocator despre „preluarea matematică a fizicii”¹⁰. Unii fizicieni, însă, au fost consternați să vadă mulți dintre cei mai talentați colegi lucrând la teorii matematice obscure, care în multe cazuri au fost imposibil de testat. În 2014, experimentatorul american Burton Richter și-a rezumat răspicat anxietățile în legătură cu această tendință: „Se pare că teoria se poate baza în curând nu pe experimente reale făcute în lumea reală, ci pe experimente imaginare, făcute în capul teoreticienilor”¹¹. Consecințele ar putea fi dezastruoase, se temea el: „Teoreticienii ar trebui să se inspire nu din observații noi, ci din matematică. În opinia mea, aceasta ar fi sfârșitul cercetării în fizica fundamentală așa cum o știm acum”.

Dezamăgirea față de starea fizicii teoretice moderne a devenit chiar un subiect de discuție publică. Aproximativ în ultimul deceniu, mai mulți comentatori influenți au atacat teoria corzilor, descriind-o drept „fizica basmului” și „nici măcar greșită”, în timp ce o generație de fizicieni teoretici sunt acuzați că s-au „pierdut în matematică”¹². Acum este obișnuință să auziți diverși

critici în mass-media, în special în blogosferă, ce se plâng de faptul că fizica modernă ar trebui să revină pe calea dreaptă și îngustă a științei reale.

Această părere este greșită și inutil de pesimistă. În această carte, voi susține că fizicienii teoretici de astăzi urmează într-adevăr o cale complet rezonabilă și extrem de promițătoare. În primul rând, abordarea lor se bazează în mod logic și creativ pe secole de realizări, până la Isaac Newton. Stabilind legi matematice care descriu mișcarea și gravitația, el a făcut mai mult decât oricine altcineva pentru a construi primul cadru bazat matematic și verificabil experimental pentru descrierea lumii reale. După cum a precizat, scopul pe termen lung este de a înțelege din ce în ce mai multe despre univers prin concepte din ce în ce mai puține¹³. Teoreticienii de vârf urmăresc astăzi acest scop stând drept pe cele două pietre granitice fundamentale ale secolului XX: teoria de bază a relativității a lui Einstein, o modificare a concepției lui Newton despre spațiu și timp, și mecanica cuantică, ce descrie comportamentul materiei la cea mai mică scară. Niciun experiment nu a respins vreuna din cele două teorii, astfel încât acestea constituie o bază excelentă pentru cercetare.

După cum a subliniat deseori Einstein, mecanica cuantică și teoria relativității de bază sunt diabolic de dificil de contopit. Fizicienii au fost în cele din urmă capabili să le combine într-o teorie care a făcut predicții impresionante de succes, într-un caz fiind de acord cu măsurarea experimentală corespunzătoare la unsprezece zecimale¹⁴. Natura părea să ne spună răspicat că vrea ca ambele teorii să fie respectate. Teoreticienii fizicii din zilele noastre se bazează pe acest succes, insistând că fiecare teorie nouă care aspiră să fie universală trebuie să fie în concordanță atât cu relativitatea de bază, cât și cu mecanica cuantică. Această insistență a avut consecințe pe care nimeni nu le-a prevăzut: nu numai la noi evoluții în fizică – inclusiv teoria corzilor –, ci și

la o serie de legături cu matematica de ultimă generație. Niciodată nu a fost mai clar că fizica și matematica se împletesc: noile concepte din fizica fundamentală aruncau lumină asupra noilor concepte din matematică și invers. Din acest motiv, mulți fizicieni de seamă cred că pot învăța nu numai din experimente, ci și din matematica ce apare atunci când relativitatea și mecanica cuantică sunt combinate.

Eficiența uluitoare a matematicii în fizică m-a încântat de când eram școlar. Îmi amintesc că am fost surprins că tehnicile abstracte pe care le-am învățat la orele de matematică erau perfect potrivite pentru rezolvarea problemelor cu care ne confruntam la orele de fizică. Cel mai remarcabil pentru mine a fost faptul că unele dintre ecuațiile matematice care asociau cantitățile necunoscute x și y s-au aplicat și observațiilor care descriu lumea reală, cu x și y reprezentând cantități pe care experimentatorii le-ar putea măsura. M-a uimit faptul că doar câteva principii simple, bazate pe matematica pe care o învățasem de curând, ar putea fi folosite pentru a prezice cu exactitate totul, de la traiectoria mingilor de golf până la traiectoriile planetelor.

Din câte îmi amintesc, niciunul dintre profesorii mei nu a comentat modul în care matematica abstractă se pretează fizicii atât de rafinat, ba chiar miraculos¹⁵. La universitate, am fost și mai impresionat de faptul că teoriile care încorporează matematica de bază ar putea descrie atât de multe despre lumea reală – de la formele câmpurilor magnetice din apropierea firelor purtătoare de curent până la mișcarea particulelor din interiorul atomilor. Părea ceva ca un fapt al vieții științifice că matematica este absolut indispensabilă fizicii. Abia mult mai târziu am văzut cealaltă parte a poveștii: fizica este indispensabilă matematicii.

*

Unul dintre principalele mele obiective din această carte este de a evidenția modul în care matematica, pe lângă faptul că s-a dovedit utilă fizicienilor, a furnizat indicii neprețuite despre modul în care funcționează universul. Încep cu folosirea epocală de către Newton a matematicii pentru a stabili și a aplica legea gravitației, pe care a testat-o în mod repetat prin observații și măsurători atente. Apoi, explic cum au fost descoperite legile matematice ale electricității și magnetismului în secolul al XIX-lea, folosind un cadru matematic care a avut implicații uriașe pentru înțelegerea naturii.

Mai departe discut despre două descoperiri inovatoare – în primul rând, relativitatea de bază și apoi mecanica cuantică, cea mai revoluționară teorie din fizică de secole. Când Einstein a folosit relativitatea pentru a ne îmbunătăți înțelegerea gravitației, a fost forțat să folosească matematica ce era nouă pentru el, iar succesul acestei abordări i-a schimbat punctul de vedere despre utilitatea matematicii avansate pentru fizicieni. De asemenea, când fizicienii au folosit mecanica cuantică pentru a înțelege materia, au fost obligați să folosească tranșe de matematici necunoscute care le-au schimbat perspectiva asupra, de exemplu, comportamentului fiecăreia dintre cele mai mici particule ale naturii.

De la mijlocul anilor '70, mulți gânditori talentați au fost atrași de un teren comun fertil între matematică și fizică. Cu toate acestea, majoritatea fizicienilor au ocolit acest teritoriu, preferând abordarea convențională și mai prudentă de a aștepta ca natura să dezvăluie mai multe dintre secretele sale prin experimente și observații. Nima Arkani-Hamed, unul dintre succesorii lui Einstein la facultatea Institutului de Studii Avansate de la Princeton, și-a construit renumele adoptând această abordare ortodoxă. Cu aproximativ un deceniu în urmă, însă, după ce

a început să studieze coliziunile dintre particulele subatomice, el și colegii săi au descoperit în mod repetat că lucrează la aceleași subiecte ca unii dintre cei mai importanți matematicieni din lume. Arkani-Hamed a devenit rapid un promotor zelos al utilității matematicii avansate pentru fizica fundamentală.

Rămâne un fizician până în măduva oaselor: „Prioritatea mea numărul unu va fi întotdeauna fizica – pentru a ajuta la descoperirea legilor care stau la baza Universului”, spune el. „Trebuie să ascultăm [natura] cât de atent putem, folosind fiecare observație și măsurare care ne-ar putea învăța ceva. În cele din urmă, experimentele vor fi întotdeauna judecătorul teoriilor noastre.” Dar munca sa matematică a schimbat radical modul în care concepe cercetarea fizică – „Putem explora natura nu numai acordând atenție experimentelor, ci și încercând să înțelegem cum rezultatele lor pot fi explicate prin cele mai profunde matematici. Ai putea spune că universul ne vorbește în numere”¹⁶.

1

Matematica alungă norii

Lucrurile care atât de des au contrariat mintea filosofilor
antici
Și deranjează fără rod școlile cu dezbateri zgomotoase
Le vedem chiar în fața ochilor noștri, deoarece matematica
alungă norii

Edmond Halley,
odă lui Newton și a lui *Principia*, 1687

Einstein a fost modest în ceea ce privește realizările sale. Își știa totuși locul în istoria științei și era conștient că stătea pe umerii uriașilor, niciunii mai mari decât ai lui Isaac Newton. La două secole după moartea englezului, Einstein a scris că „acest geniu strălucit” a „determinat cursul gândirii, cercetării și practicii occidentale, ca nimeni altcineva înainte sau după aceea”¹. Printre cele mai mari realizări ale lui Newton, a remarcat mai târziu Einstein, a fost că era „primul creator al unui sistem cuprinzător, practicabil de fizică teoretică”².

Newton nu a vorbit niciodată despre „fizicieni” și „oameni de știință”, termeni care au fost creați la mai mult de un secol după moartea sa³. Mai degrabă, el s-a considerat în primul rând un om al lui Dumnezeu și doar în al doilea rând un matematician și filosof natural, încercând să înțeleagă rațional întregul creației lui Dumnezeu, folosind o combinație de raționament și experiment. El și-a prezentat public abordarea matematică a filosofiei