

Frank Wilczek (n. 1951) este profesor de fizică la Institutul Tehnologic din Massachusetts. A avut contribuții remarcabile în domeniile stării condensate, astrofizicii și fizicii particulelor. În 2004 a primit Premiul Nobel pentru „descoperirea libertății asimptotice în teoria interacțiunii tari”. Pe lângă activitatea de cercetare, a publicat și cărți adresate publicului larg: *Longing for the Harmonies: Themes and Variations from Modern Physics* (împreună cu Betsy Devine), *Fantastic Realities: 49 Mind Journeys And a Trip to Stockholm*, *The Lightness of Being: Mass, Ether, and the Unification of Forces*, *A Beautiful Question: Finding Nature's Deep Design*.

FRANK WILCZEK

FUNDAMENTELE

LUMII
FIZICE

Traducere din engleză
de Tatiana Niculescu

 HUMANITAS
BUCUREȘTI

Cuprins

Prefață: <i>Născut a doua oară</i>	9
Introducere	17
PARTEA I: CE EXISTĂ	
1. Foarte mult spațiu	27
2. Foarte mult timp	52
3. Foarte puține ingrediente	69
4. Foarte puține legi	98
5. Foarte multă materie și energie	128
PARTEA A II-A: ÎNCEPUTURI ȘI SFÂRȘITURI	
6. Istoria cosmică e o carte deschisă	145
7. Cum apare complexitatea	159
8. Mai sunt foarte multe de văzut	167
9. Misterele persistă	184
10. Complementaritatea ne lărgeste orizontul	201
Postfață: <i>Lungul drum către casă</i>	215
Mulțumiri	221
Anexă	223

Introducere

I

Universul e un loc straniu.

Nou-născuții văd lumea ca pe un amestec de impresii uluitoare. Punând ordine în ele, bebelușul învață curând să distingă între mesaje provenind dintr-o lume interioară și mesaje provenind dintr-o lume exterioară. Lumea interioară conține senzații precum foamea, durerea, starea de bine, somnolența, dar și lumea fantomatică a viselor. Tot din ea fac parte și gândurile personale, cum sunt cele care îi conduc copilului privirea, gestul de a apuca și, în curând, vorbirea.

Lumea exterioară e o construcție mintală complicată, iar bebelușul nostru dedică mult timp alcătuirii ei. Învață să recunoască tipare stabile în percepția lui, care, spre deosebire de propriu-i corp, nu răspunde la gândurile lui. Bebelușul organizează acele tipare în obiecte. Și învață că obiectele se comportă oarecum previzibil.

În fine, când bebelușul devine copil, începe să recunoască în unele obiecte ființe asemănătoare lui, ființe cu care poate comunica. După ce face schimb de informații cu acele ființe, se convinge că și ele au lumi interioare și lumi exterioare, și, mai mult, că toate acele „lumi exterioare“ au în comun multe obiecte, iar acele obiecte se supun aceluiași reguli.

A înțelege cum să controleze lumea exterioară comună – altfel spus, lumea fizică – este, desigur, o problemă practică vitală care presupune multe aspecte. De exemplu, ca să se descurce într-o comunitate de vânători, copilul nostru va trebui să învețe unde să găsească o sursă de apă, ce plante și animale sunt bune de mâncat și cum să le recunoască, să le crească sau să le vâneze; cum să pregătească și să gătească hrana, și multe alte fapte și aptitudini.

În societăți mai complexe apar alte încercări: cum să făurești unelte specializate, cum să construiești structuri rezistente și cum să ții socoteala timpului. Soluțiile de succes la problemele pe care le ridică lumea fizică se descoperă, se transmit și se acumulează de-a lungul generațiilor. Ele constituie, pentru fiecare societate, „tehnologia“ ei.

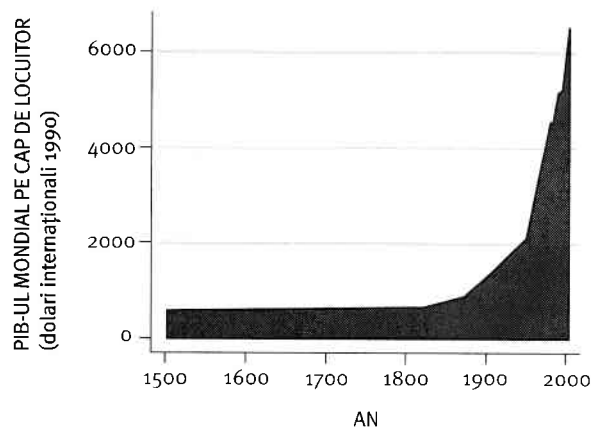
Societățile non-științifice elaborează adesea tehnologii ample și complexe. Unele dintre acestea le-au permis – și le permit încă – oamenilor să supraviețuiască în condiții de mediu dificile, ca în regiunile polare sau în deșertul Kalahari. Altele au contribuit la construirea unor mari cetăți și monumente impresionante, cum sunt piramidele din Egipt sau din America Centrală.

De-a lungul istoriei omenirii, înainte de apariția metodei științifice, dezvoltarea tehnologiilor a fost însă în bună măsură opera hazardului. Tehnici de succes au fost descoperite mai mult sau mai puțin accidental. Odată descoperite, au fost transmise mai departe sub forma unor proceduri, ritualuri și tradiții. Ele n-au alcătuit un sistem logic, și nici nu s-a făcut vreun efort sistematic pentru perfecționarea lor.

Tehnologiile bazate pe experiența practică le-au permis oamenilor să supraviețuiască, să se înmulțească și, adesea, să ducă o viață mulțumitoare. Pentru majoritatea oamenilor, în ma-

ioritatea culturilor și de-a lungul celei mai mari părți a istoriei, asta a fost de ajuns. Oamenii nu aveau cum să știe ce le lipsește sau că ceea ce le lipsește ar putea fi important pentru ei.

Dar acum știm că le lipseau multe lucruri. Figura de mai jos, care prezintă dezvoltarea productivității umane de-a lungul timpului, e grăitoare.



III

Abordarea modernă a înțelegerii lumii a apărut în Europa în secolul XVII. Au existat anterior și pe alte continente anticipări parțiale, dar constelația de descoperiri cunoscută sub numele de Revoluție Științifică a constituit o sursă de inspirație pentru ce pot realiza mințile omenesti când iscodesc în mod creator lumea fizică, iar metodele și abordările care au dus la acele descoperiri au oferit modele clare pentru explorările viitoare. Cu acest imbold a început știința așa cum o cunoaștem azi. Și nu a mai privit niciodată înapoi.

În secolul XVII au avut loc progrese spectaculoase de natură teoretică și tehnologică în multe domenii, inclusiv în construirea

de mașinării mecanice și corăbii, instrumente optice (mai ales microscopice și telescoape), ceasuri și calendare. Ca urmare, oamenii au acumulat mai multă putere, au putut să vadă mai multe lucruri și să-și conducă mai bine afacerile multă vreme. Dar ceea ce face așa-numita Revoluție Științifică într-adevăr unică și vrednică de acest nume este mai puțin evident. A fost o epocă de schimbare a perspectivei: au apărut o nouă ambiție și o nouă încredere.

Metoda lui Kepler, Galilei și Newton combină modesta disciplină a respectării faptelor și a învățării de la Natură cu îndrăzneala sistematică de a folosi cu orice preț lucrul pe care crezi că l-ai învățat, de a-l aplica oriunde poți, chiar și în situații care depășesc dovezile inițiale. Dacă funcționează, atunci ai descoperit ceva util; dacă nu, atunci ai aflat ceva important. Am numit această atitudine Conservatorism Radical, iar, pentru mine, ea este inovația esențială a Revoluției Științifice.

Conservatorismul Radical e conservator pentru că ne cere să învățăm de la Natură și să respectăm faptele – aspecte esențiale în ceea ce se numește metoda științifică. Dar este și radical, fiindcă împinge descoperirea până la ultimele consecințe. Lucru nu mai puțin important pentru felul în care lucrează știința. Îi dă științei îndrăzneala necesară.

IV

Noua perspectivă a fost inspirată în primul rând de progresele făcute într-un domeniu care chiar și în secolul XVII era deja vechi și bine dezvoltat: mecanica celestă, descrierea felului în care par să se miște obiectele de pe cer.

Cu mult înaintea istoriei scrise oamenii și-au dat seama de regularități cum sunt alternarea zilei cu noaptea, ciclul anotimpurilor, fazele lunii și mișcarea ordonată a stelelor. Odată cu apariția agriculturii, a devenit vitală observarea anotimpu-

rilor pentru a semăna și a culege recolta la momentul potrivit. O altă motivație importantă, greșită sau nu, pentru observații cât mai corecte era credința că viața omului e direct legată de ritmurile cosmice: astrologia. În orice caz, din varii motive – inclusiv simpla curiozitate – oamenii au studiat cerul cu atenție.

A rezultat că marea majoritate a stelelor se mișcă într-un mod destul de simplu și previzibil. Interpretăm azi aparenta lor mișcare ca pe rezultatul rotației Pământului în jurul axei sale. „Stelele fixe“ sunt atât de îndepărtate, încât schimbări relativ mici ale distanței până la ele, datorate fie mișcărilor lor, fie rotației Pământului în jurul Soarelui, nu pot fi sesizate cu ochiul liber. Dar anumite corpuri cerești – Soarele, Luna și câteva „astre rătăcitoare“, între care planetele Mercur, Venus, Marte, Jupiter și Saturn – se sustrag acestei reguli.

De-a lungul multor generații, vechii astronomi au consemnat pozițiile acestor obiecte speciale, și au învățat până la urmă să le prevadă cu destulă precizie schimbările. A fost nevoie de calcule de geometrie și trigonometrie urmând rețete complicate, dar bine definite. Ptolemeu (c. 100–170) a adunat tot acest material într-un text matematic care a ajuns să fie intitulat *Almagest*. („Magest“ este în greaca veche superlativul însemnând „cel mai mare“, și are aceeași rădăcină ca „majestuos“. „Al“ este articolul hotărât în arabă.)

Sinteza lui Ptolemeu a fost o realizare minunată, dar avea două neajunsuri. Unul era complexitatea, și, legată de aceasta, urâtenia ei. În particular, rețetele folosite pentru a calcula mișcările planetelor introduceau multe numere determinate doar prin potrivirea calculelor cu observațiile, fără principii călăuzitoare mai profunde care să le lege între ele. Copernic (1473–1543) a observat că valorile unora dintre aceste numere erau legate între ele într-un mod surprinzător de simplu. Aceste relații misterioase puteau fi explicate geometric dacă se

presupunea că Pământul, Venus, Marte, Jupiter și Saturn se rotesc toate în jurul Soarelui, aflat în centru (iar Luna se rotește în jurul Pământului).

Al doilea neajuns al sintezei lui Ptolemeu e mai clar: pur și simplu nu e exactă. Anticipând ceea ce numim azi *Big Science*, Tycho Brahe (1546–1601) a conceput instrumente sofisticate și a cheltuit o grămadă de bani ca să construiască un observator care să permită observarea mult mai precisă a poziției planetelor. Noile rezultate au scos în evidență abateri clare de la predicțiile lui Ptolemeu.

Johannes Kepler (1571–1630) a conceput un model geometric al mișcării planetelor deopotrivă simplu și precis. Adoptând ideile lui Copernic, el a adus modificări tehnice importante modelului acestuia: orbitele planetelor în jurul Soarelui nu erau cercuri, ci elipse, cu Soarele într-unul din focare. În plus, ritmul în care planetele orbitau varia cu distanța lor până la Soare așa încât să măture arii egale în timpi egali. Cu aceste modificări, sistemul era mult mai simplu și funcționa mai bine.

Între timp, Galileo Galilei (1564–1642) a studiat cu atenție forme de mișcare simple pe Pământ, cum ar fi rostogolirea unei bile pe un plan înclinat sau oscilația unui pendul. Acele studii modeste, prin care el asocia numere pozițiilor și timpilor, pot părea cu totul nepotrivite pentru a răspunde la marile întrebări despre felul în care funcționează lumea. Multora dintre savanții contemporani preocupați de marile întrebări ale filozofiei li se vor fi părut fără îndoială banale. Dar Galilei viza un alt tip de înțelegere. Voia să înțeleagă *ceva* cu precizie, nu *totul* în mod vag. El căuta – și a găsit – formule matematice clare care să descrie complet modestele lui observații.

Isaac Newton (1643–1727) a împletit geometria mișcării planetelor a lui Kepler cu descrierea dinamică a mișcării pe Pământ a lui Galilei. El a demonstrat că teoria lui Kepler despre mișcarea planetelor și cea a lui Galilei despre anumite mișcări

puteau fi cel mai bine înțelese dacă erau considerate cazuri particulare ale unor legi generale care se aplică tuturor corpurilor oriunde și oricând. Teoria lui Newton, pe care o numim acum mecanică clasică, a cunoscut succes după succes, explicând marea, prezicând traiectoriile cometelor și permițând noi realizări în inginerie.

Opera lui Newton a demonstrat convingător că putem aborda marile întrebări pornind de la înțelegerea detaliată a cazurilor simple. Newton a numit această metodă *analiză și sinteză*. Este arhetipul Conservatorismului Radical al științei.

Iată ce spunea Newton însuși despre metoda lui:

În filozofia naturală, la fel ca în matematică, investigarea lucrurilor dificile prin metoda analitică trebuie să precedă metoda sintetică. Analiza constă în a face experiențe și observații și a trage din ele prin inducție concluzii generale [...]. Prin acest mod de analiză putem trece de la compus la simplu și de la mișcare la forțele care o produc și, în general, de la efecte la cauzele lor, iar de la cauzele particulare la cele mai generale, până când argumentația devine cea mai generală. Aceasta este metoda analitică, iar cea sintetică constă în a admite cauze descoperite și stabilite ca principii, și cu ajutorul lor a explica fenomenele ce provin din ele și a demonstra explicațiile.*

V

Înainte de a trece mai departe, ar fi potrivit un alt citat din Newton, care arată înrudirea lui cu înaintașii săi Galilei și Kepler, și cu noi toți cei care mergem pe urmele lor:

* Isaac Newton, *Optica*, Editura Academiei RSR, București, 1970. (N. red.)

A explica întreaga natură este o sarcină prea dificilă pentru un om sau chiar pentru o epocă. E mult mai bine să faci puțin cu exactitate, și să lași restul în seama celor care vor veni după tine.*

Un citat mai recent din John R. Pierce, un pionier al informaticii, surprinde la fel de plastic diferența dintre noțiunea modernă de înțelegere științifică și toate celelalte abordări:

Cerem ca teoriile noastre să se armonizeze în detaliu cu spectrul larg al fenomenelor pe care încearcă să le explice. Și insistăm ca ele să ne ofere o călăuză utilă, nu justificări pentru ideile noastre.

Pierce era perfect conștient că pentru acest standard înalt trebuie plătit un preț dureros: pierderea inocenței. „Nu vom mai înțelege niciodată natura la fel de bine cum au înțeles-o filozofii greci. [...] Știm prea mult.“ Cred că acest preț nu e prea mare. Oricum, nu mai e cale de întoarcere.

* Afirmatia lui Newton apare într-o notă nepublicată la prefața *Opticii*.
(N. red.)

PARTEA I

CE EXISTĂ

Foarte mult spațiu

FOARTE MULT ÎN AFARĂ ȘI FOARTE MULT ÎNĂUNTRU

Când spunem că ceva e mare – indiferent dacă e vorba de universul vizibil sau de creierul uman – trebuie să ne întrebăm: în comparație cu ce? Ne raportăm în mod firesc la domeniul vieții de zi cu zi. Acesta e contextul primelor noastre modele ale lumii, pe care ni le construim în copilărie. Ajungem să descoperim domeniul lumii fizice, așa cum ni-l dezvăluie știința, când acceptăm să ne naștem a doua oară.

După standardele vieții de zi cu zi, lumea „din afară” e într-adevăr gigantică. Simțim acea *imensitate exterioară* ori de câte ori privim noaptea cerul înstelat. Fără să avem nevoie de o analiză amănunțită, simțim intuitiv că distanțele din univers sunt incomparabil mai mari decât corpul nostru, mai mari decât orice distanță am putea străbate vreodată. Cunoașterea științifică nu numai că ne confirmă acea senzație de imensitate, dar o sporește enorm.

Dimensiunea lumii îi poate copleși pe oameni. Matematicianul, fizicianul și filozoful religios francez Blaise Pascal (1623–1662) simțea asta și era frământat de acest gând. „Universul mă apucă și mă înghite ca pe un punct”^{*}, scria el.

^{*} Pascal, *Cugetări*, Editura Aion, București, 1998. (N. red.)

Sentimente precum cel al lui Pascal – simplu spus, „sunt foarte mic, nu înseamnă nimic în univers“ – reprezintă o temă comună în literatură, filozofie și teologie. Ela apar în multe rugăciuni și în psalmi. Asemenea sentimente sunt o reacție firească la condiția umană insignifiantă cosmic, atunci când măsurăm dimensiunea.

Dar simpla dimensiune nu e totul. *Vastitatea noastră interioară* e mai subtilă, dar cel puțin la fel de profundă. Ajungem la această concluzie când judecăm lucrurile de la celălalt capăt, de jos în sus. Jos există foarte mult spațiu. În toate sensurile care contează cu adevărat, suntem foarte mari.

La școală, învățăm că unitățile structurale elementare care alcătuiesc materia sunt atomii și moleculele. În termenii acelor unități, corpul omenesc este uriaș. Numărul atomilor dintr-un corp uman este de aproximativ 10^{28} – unu urmat de 28 de zerouri: 10 000 000 000 000 000 000 000 000 000.

E un număr care depășește orice ne-am închipui. Îi putem da un nume – zece octilioane –, iar după puțin exercițiu putem învăța să calculăm cu el. Dar el copleșește intuiția obișnuită, care se bazează pe experiența vieții noastre de zi cu zi în care nu avem ocazia să numărăm până la această cifră. Vizualizarea atâtor puncte individuale depășește cu mult capacitatea creierului nostru.

Numărul stelelor vizibile cu ochiul liber pe cerul senin în nopțile fără lună este, în cel mai bun caz, de câteva mii. În schimb, zece octilioane, numărul atomilor din noi, este de aproximativ un milion de ori numărul stelelor din întregul univers vizibil. În acest sens foarte concret, în noi sălășluiește un univers.

Walt Whitman (1819–1892), impetuosul poet american, a intuit vastitatea noastră interioară. În al său *Cântec despre mine* scria: „Sunt vast, cuprind mulțimi în mine.“* Încântarea lui

* Walt Whitman, *Cântec despre mine*, Editura Univers, București, 1973. (N. red.)

Whitman în fața vastității lăuntrice este la fel de întemeiată pe realități obiective ca invidia lui Pascal pe cosmos, și e mult mai relevantă pentru experiența noastră actuală.

Lumea e vastă, dar nici noi nu suntem mici. Mai corect e să spunem că există foarte mult spațiu, și la scară mare, și la scară mică. Nu trebuie să invidiem Universul doar fiindcă e mare. Și noi suntem mari. Mai precis, suntem destul de mari ca să conținem în mintea noastră universul exterior. Pascal însuși găsea consolare în această intuiție, continuându-și lamentația „universul mă apucă și mă înghite ca pe un punct“ cu consolarea „prin gândire eu îl înțeleg“.

Abundența spațiului – deopotrivă cea exterioară și cea interioară – reprezintă tema principală a acestui capitol. Vom analiza datele incontestabile, iar apoi ne vom aventura dincolo de ele.

VASTITATEA EXTERIOARĂ: CE ȘTIM ȘI CUM ȘTIM

Preludiu: geometrie și realitate

Discuția științifică despre distanțele cosmice se bazează pe înțelegerea spațiului fizic și a felului în care măsurăm distanța: știința geometriei. Să începem, așadar, cu raportul dintre geometrie și realitate.

Direct, experiența cotidiană ne învață că obiectele se pot muta dintr-un loc în altul fără să și schimbe proprietățile. Asta ne conduce la ideea de „spațiu“ ca un fel de receptacol în care natura depozitează obiecte.

Aplicațiile practice în topografie, arhitectură și navigație i-au făcut pe oameni să măsoare distanțele și unghiurile dintre obiecte apropiate. Astfel ei au descoperit regularitățile din geometria euclidiană.