



CARLO ROVELLI

ȘAPTE SCURTE
LECTȚII DE FIZICĂ

Carlo Rovelli s-a născut în 1956 la Verona și, după ce a studiat fizica la Universitatea din Bologna, și-a susținut doctoratul la Universitatea din Padova, pentru a lucra apoi în Statele Unite și în Franța. Prin cercetările sale, Carlo Rovelli a adus contribuții importante la construirea unei teorii cuantice a gravitației – probabil cea mai dificilă problemă cu care se confruntă fizica în zilele noastre.

Carlo Rovelli

Sette brevi lezioni di fisica

© 2014 Adelphi Edizioni S.p.A.

Ilustrația copertei: © Sparrow3d | Dreamstime.com -Colorful Vector Hand
Drawn Doodles Photo

© HUMANITAS, 2017, pentru prezenta versiune românească (ediția digitală)

ISBN 978-973-50-5675-9 (epub)

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: 0372 743 382; 0723 684 194

CARLO ROVELLI

ȘAPTE SCURTE
LECȚII DE FIZICĂ

Traducere din engleză de
Vlad Zografi

Cuprins

ȘAPTE SCURTE LECȚII DE FIZICĂ

Notă asupra ediției române

Prefață

Lecția întâi. Cea mai frumoasă dintre teorii

Lecția a doua. Cuante

Lecția a treia. Arhitectura cosmosului

Lecția a patra. Particule

Lecția a cincea. Grăunțe de spațiu

Lecția a șasea. Probabilitate, timp și căldura găurilor negre

În încheiere. Noi înșine

Notă asupra ediției române

Sette brevi lezioni di fisica a apărut în 2014 la Editura Adelphi, și la scurt timp a fost tradusă în peste treizeci de limbi. Ediția engleză (traducere de Simon Carnell și Erica Segre) a fost publicată de Penguin Books, sub titlul *Seven Brief Lessons on Physics*. Din motive care țin de terminologia deja încetățenită în fizică, am ales, cu acordul editurii italiene, să traducem versiunea engleză, coroborând-o totodată cu cea originală.

Prefață

Aceste lecții au fost scrise pentru cei care știu puțin sau nu știu nimic despre știința modernă. Împreună, ele oferă o privire de ansamblu concentrată asupra celor mai fascinante aspecte ale marii revoluții săvârșite în fizică în secolul XX și ale întrebărilor și misterelor pe care această revoluție le-a adus la lumină. Căci știința ne arată nu doar cum să înțelegem mai bine lumea, dar și cât de vastă e dimensiunea a ceea ce încă nu cunoaștem.

Prima lecție este dedicată relativității generale a lui Albert Einstein, „cea mai frumoasă dintre teorii“. A doua, mecanicii cuantice, în care se ascund cele mai derutante aspecte ale fizicii moderne. A treia e dedicată cosmosului: arhitectura universului în care trăim. A patra, particulelor elementare. A cincea se ocupă de gravitația cuantică: încercările aflate în curs de a crea o sinteză a marilor descoperiri din secolul XX. A șasea este despre probabilități și căldura găurilor negre. În încheiere, ultima secțiune a cărții se întoarce la noi înșine, punându-și problema cum putem privi propria noastră existență în strania lume descrisă de această fizică.

Lecțiile sunt dezvoltări ale unei serii de articole publicate de autor în suplimentul duminical al ziarului italian *Il Sole 24 Ore*. Țin să-i mulțumesc în mod special lui Armando Massarenti, care a avut meritul de a deschide către știință paginile culturale ale suplimentului, punând astfel în evidență rolul științei de componentă esențială a culturii.

Lecția întâi

Cea mai frumoasă dintre teorii

În tinerețe, Albert Einstein a trăndăvit vreme de un an. Nu ajungem nicăieri dacă nu „pierdem” timpul – iată un lucru pe care părinții adolescenților de azi îl ignoră adesea. Se afla la Pavia. Venise acolo pentru a se alătura familiei, după ce-și abandonase studiile în Germania, unde nu putuse suporta rigorile liceului. Era la începutul secolului XX, iar Italia își începea revoluția industrială. Tatăl lui, inginer de profesie, lucra la instalarea primelor centrale electrice în Câmpia Padului. Albert citea din Kant și se ducea uneori la cursurile Universității din Pavia – o făcea de plăcere, fără să fie înscris ca student și fără să-i pese de examene. Așa se formează marii oameni de știință.

S-a înscris apoi la Universitatea din Zürich și s-a cufundat în studiul fizicii. Câțiva ani mai târziu, în 1905, a trimis trei articole către cea mai prestigioasă revistă științifică din acea vreme, *Annalen der Physik*. Fiecare dintre ele merita un premiu Nobel. Primul arăta că atomii există cu adevărat. Al doilea deschidea calea către mecanica cuantică, despre care voi vorbi în lecția următoare. Al treilea prezenta prima sa teorie a relativității (numită azi „relativitate specială” sau „relativitate restrânsă”), conform căreia timpul nu se scurge identic pentru toți: doi gemeni descoperă că au vârste diferite dacă unul din ei a călătorit cu viteză mare.

Einstein a devenit brusc un savant de renume și a primit oferte de angajare din partea mai multor universități. Ceva însă îl nemulțumea: în ciuda succesului ei fulgerător, teoria relativității nu se potrivea cu ceea ce se știa despre gravitație, mai exact cu felul în care cad obiectele. Și-a dat seama de asta atunci când a scris un articol în care își prezenta pe scurt teoria, și a început să se întrebe dacă legea „universală a gravitației”, așa cum a fost formulată de însuși Isaac Newton, părintele fizicii, nu trebuia cumva revizuită pentru a deveni compatibilă cu noua noțiune de relativitate. S-a dedicat cu totul acestei probleme, și au trecut zece ani până s-o rezolve. Zece ani de muncă frenetică, încercări, erori, confuzii, articole greșite, idei strălucite, piste false.

În cele din urmă, în noiembrie 1915, a trimis spre publicare un articol în care oferea soluția completă: o nouă teorie a gravitației, pe care a numit-o „teoria relativității generale“, capodopera sa, „cea mai frumoasă dintre teorii“, după cum o numea marele fizician rus Lev Landau.

Sunt capodopere absolute care ne trezesc o emoție intensă: *Requiemul* lui Mozart, *Odissea* lui Homer, Capela Sixtină, *Regele Lear*. Este nevoie, poate, de o ucenicie îndelungată pentru a percepe întreaga lor splendoare, dar recompensa e frumusețea ultimă. Și mai e ceva: ele ne oferă o nouă perspectivă asupra lumii. Giuvaierul lui Einstein, teoria relativității generale, e o asemenea capodoperă.

Țin minte tulburarea care m-a cuprins când am început s-o înțeleg. Era vară. Mă aflam pe plaja de la Condofuri, în Calabria, scăldat de soarele Mediteranei elenice, în ultimul an de studii universitare. Vacanța e cea mai bună perioadă ca să înveți, fiindcă nu ești distras de obligațiile școlare. Studiam o carte cu marginile roase de șoareci, pentru că noaptea mă foloseam de ea ca să astup găurile acestor biete făpturi din ruina de casă în stil hipiot de pe un deal din Umbria, acolo unde obișnuiam să mă refugiez ca să scap de plictiseala cursurilor universitare de la Bologna. Îmi ridicam din când în când ochii din carte și priveam lucirea mării: mi se părea că văd aievea curbura spațiului și timpului imaginată de Einstein.

A fost ca o vrajă, de parcă un prieten mi-ar fi șoptit la ureche un extraordinar adevăr ascuns, ridicând brusc vălul realității, pentru a scoate la iveală o ordine mai profundă și mai simplă. De când știm că Pământul e rotund și se învâрте nebunește ca un titirez, am înțeles că realitatea nu e ce pare a fi: de fiecare dată când întrezărim un nou aspect al ei, simțim o emoție puternică. A căzut încă un văl.

Dar dintre toate salturile succesive care au dus mai departe cunoașterea noastră în cursul istoriei, cel al lui Einstein este probabil fără egal. De ce? În primul rând, fiindcă, odată ce-ai înțeles cum funcționează, teoria devine de o simplitate stupefiantă. Voi prezenta aici pe scurt ideea.

Newton a încercat să explice motivul pentru care lucrurile cad și planetele se rotesc. El și-a imaginat existența unei „forțe“ care atrage toate corpurile materiale unul către altul și a numit-o „forță gravitațională“. Nu se știa ce anume face această forță pentru a atrage obiecte aflate la distanță unul de altul, fără ca între ele să fie ceva – și marele părinte al științei moderne nu s-a aventurat să sugereze o ipoteză. Newton și-a imaginat de asemenea că obiectele se mișcă prin spațiu, iar spațiul e un imens recipient gol, o cutie uriașă care conține universul,

o structură vastă prin care obiectele se deplasează în linie dreaptă, până când o forță le curbează traiectoria. Din ce este alcătuit acel „spațiu“, recipientul lumii închipuit de el, Newton nu putea spune.

Dar, cu câțiva ani înainte de nașterea lui Einstein, doi mari fizicieni britanici, Michael Faraday și James Maxwell, au adăugat lumii reci a lui Newton un ingredient esențial: câmpul electromagnetic. Acest câmp este o entitate reală care, răspândit pretutindeni, transmite undele radio, umple spațiul, poate vibra și oscila ca suprafața unui lac și „transportă“ forța electrică. Einstein a fost fascinat din tinerețe de acest câmp electromagnetic care pune în mișcare rotoarele centralelor electrice construite de tatăl său, și a înțeles curând că, la fel ca electricitatea, gravitația trebuie să se propage și ea printr-un câmp: trebuie să existe un „câmp gravitațional“, analog „câmpului electric“. El și-a propus să înțeleagă felul în care acționează „câmpul gravitațional“ și cum poate fi descris cu ajutorul ecuațiilor.

Iar atunci i-a venit o idee extraordinară, care numai unui geniu îi putea veni: câmpul gravitațional nu e răspândit prin spațiu, câmpul gravitațional e spațiul însuși. Aceasta e ideea relativității generale. „Spațiul“ lui Newton, prin care se mișcă obiectele, și „câmpul gravitațional“ sunt unul și același lucru.

A fost un moment de iluminare. O simplificare spectaculoasă a lumii: spațiul nu mai e ceva diferit de materie, ci este una dintre componentele „materiale“ ale lumii. O entitate care se undulează, se încovoie, se curbează, se răsuțește. Nu ne aflăm în interiorul unei infrastructuri rigide, ci suntem cufundați într-o uriașă scoică flexibilă. Soarele curbează spațiul în jurul său, iar Pământul nu se rotește în jurul lui pentru că e atras de o forță misterioasă, ci pentru că se deplasează drept într-un spațiu care se înclină, ca o bilă care se rotește într-o pâlnie. Nu există forțe misterioase generate în centrul pâlniei; natura curbă a pereților este cea care face ca bila să se rotească. Planetele orbitează în jurul Soarelui și obiectele cad pentru că spațiul se curbează.

Cum putem descrie această curbura a spațiului? Cel mai celebru matematician al secolului XIX, Carl Friedrich Gauss, cel căruia i s-a spus „prințul matematicii“, a găsit formule matematice pentru a descrie suprafețe bidimensionale ondulate, cum sunt suprafețele dealurilor. I-a cerut apoi unuia dintre studenții lui talentați să generalizeze teoria pentru a cuprinde spații cu trei sau mai multe dimensiuni. Studentul, Bernhard Riemann, a produs o teză de doctorat impresionantă, care ai fi zis că e complet inutilă. Concluzia tezei lui Riemann era că proprietățile unui spațiu curb sunt înglobate într-un obiect

matematic pe care astăzi îl numim curbura lui Riemann și îl notăm cu R . Einstein a scris o ecuație care spune că R este proporțională cu energia materiei. Altfel spus, spațiul se curbează acolo unde există materie. Asta e tot. Ecuația încapă pe o jumătate de rând, atât și nimic mai mult. O idee – spațiul se curbează – a devenit o ecuație.

Dar în această ecuație se ascunde un întreg univers. Iar bogăția magică a teoriei deschide calea către un șir fantasmagoric de predicții care seamănă cu delirul unui nebun, însă toate au fost verificate experimental.

Pentru început, să spunem că ecuația descrie felul în care se curbează spațiul în jurul unei stele. Curbura face nu numai ca planetele să orbiteze în jurul stelei, dar are efecte și asupra luminii: în loc să se deplaseze în linie dreaptă, traiectoria luminii e deviată. Această deviere a fost măsurată în 1919, iar predicția a fost confirmată.

Însă nu doar spațiul se curbează, ci și timpul. Einstein a prezis că timpul se scurge mai repede la altitudine mare decât la șes. S-a măsurat, și s-a dovedit că așa stau lucrurile. Dacă un om care a trăit la nivelul mării se întâlnește cu geamănul lui care a trăit în munți, descoperă că geamănul e puțin mai bătrân ca el. Și asta e doar începutul.

Când o stea mare și-a consumat tot combustibilul (hidrogenul), ea își încheie viața. Ceea ce rămâne nu mai poate fi susținut de căldura combustiei și colapsează sub propria-i greutate, până când spațiul e atât de puternic curbat, încât se prăbușește într-o veritabilă gaură. Acestea sunt faimoasele „găuri negre”. Pe când studiam la universitate, ele erau considerate predicții prea puțin credibile ale unei teorii ezoterice. Astăzi, astronomii le observă cu sutele pe cer și le studiază în mare detaliu.

Dar asta nu e totul. Întreg spațiul se poate extinde și contracta. Mai mult, ecuația lui Einstein arată că spațiul nu poate rămâne nemișcat, că trebuie să se *extindă*.¹ În 1930, expansiunea universului a fost efectiv observată. Aceeași ecuație prezice că expansiunea trebuie să fi fost declanșată de explozia unui univers tânăr, extrem de mic și de fierbinte – *big bang-ul*. Și în acest caz, la început nimănui nu i-a venit să creadă, dar dovezile s-au tot acumulat până când a fost detectată pe cer *radiația cosmică de fond* – urma difuză a căldurii generate de explozia primordială. Predicția ecuației lui Einstein s-a dovedit a fi corectă.

Teoria mai spune că spațiul se încrețește asemenea suprafeței mării. Efectele acestor unde gravitaționale sunt observate pe cer la stelele binare și corespund predicțiilor teoriei cu uimitoarea precizie de unu la o sută de miliarde. Și așa mai

departe.

Pe scurt, teoria descrie o lume fantastică, plină de viață și de culoare, în care universurile explodează, spațiul se prăbușește în găuri fără capăt, timpul încetinește în apropierea unei planete, iar întinderile nemărginite ale spațiului interstelar se încrețesc și se văluresc ca suprafața mării... Iar toate astea, care s-au ivit treptat din cartea mea roasă de șoareci, nu erau vreun basm spus de un idiot într-un acces de furie² sau vreo halucinație provocată de soarele mediteraneean din Calabria și de marea orbitoare. Erau pur și simplu realitatea.

Sau, mai bine zis, o privire fugară aruncată asupra realității, de pe care am ridicat puțin vălul, pentru a vedea ceva mai mult decât banalitatea cețoasă de zi cu zi. O realitate care pare alcătuită din aceeași substanță ca visele noastre,³ dar spre deosebire de ele, nu e fantomatică, ci concretă.

Toate acestea sunt rezultatul unei intuiții elementare: spațiul și câmpul gravitațional sunt unul și același lucru. Și al unei ecuații pe care nu mă pot abține s-o scriu aici, deși aproape cu siguranță n-o veți putea descifra. Pesemne însă că unii cititori vor aprecia totuși minunata ei simplitate:

$$R_{ab} - \frac{1}{2} R g_{ab} = T_{ab}$$

Totul e conținut în ea.

Evident, ar trebui să studiați și să digerați matematica lui Riemann pentru a stăpâni tehnica de a citi și folosi această ecuație. Asta cere străduință și efort, însă mai puțin decât e nevoie pentru a te bucura de frumusețea rarefiată a ultimelor cvartete ale lui Beethoven. În ambele cazuri recompensa e frumusețea pură și o privire nouă aruncată asupra lumii.

Note

¹. De fapt, poate la fel de bine și să colapseze. Esențial este că ecuația lui Einstein nu admite existența unui univers static. (N. t.)

². Trimitere la replica lui Macbeth: „E o poveste spusă de-un nătâng, / din vorbe-alcătuită și din zbucium / Și ne-nsemnând nimic“ (Shakespeare, *Opere complete volumul 7*, Editura Univers, București, 1988). (N. t.)

³. Trimitere la cuvintele lui Prospero din *Furtuna*: „Plămadă suntem precum cea din care / Făcute-s visele“. (Shakespeare, *Opere complete volumul 8*, Editura Univers, București, 1990). (N. t.)

Lecția a doua

Cuante

Cei doi piloni de susținere ai fizicii secolului XX – relativitatea generală, despre care am vorbit în lecția întâi, și mecanica cuantică, de care mă voi ocupa aici – sunt cum nu se poate mai diferiți. Ambele teorii ne arată că structura fină a naturii e mai subtilă decât pare. Relativitatea generală e un giuvaier compact: concepută de o singură minte, cea a lui Albert Einstein, este o perspectivă simplă și coerentă asupra gravitației, spațiului și timpului. Pe de altă parte, mecanica cuantică, sau „teoria cuantică”, a obținut un succes experimental fără precedent și a condus către aplicații care ne-au transformat viața de zi cu zi (calculatorul la care scriu, de pildă). Și totuși, la mai bine de un secol de la nașterea ei, ea rămâne incomprehensibilă, învăluită în mister.

Se spune că mecanica cuantică s-a născut exact în 1900, deschizând un secol de intense dezbateri intelectuale. Fizicianul german Max Planck a calculat câmpul electric aflat în echilibru în interiorul unei cavități încălze. În acest scop, a folosit un truc: și-a imaginat că energia câmpului e distribuită în „cuante” – pachete sau bulgări de energie. Procedul a condus la un rezultat care reproducea perfect măsurătorile (așa încât trebuia cumva să fie corect), dar intra în contradicție cu tot ce se știa la vremea aceea. Se credea că energia este ceva care variază continuu și nu exista vreun motiv pentru a o trata ca și cum ar fi alcătuită din mici cărămizi.

Pentru Planck, tratarea energiei ca și cum ar fi constituită din pachete finite reprezenta un bizar truc folosit în calcul și nu înțelegea nici el pe deplin motivul pentru care trucul funcționa. Abia Einstein, din nou el, și-a dat seama cinci ani mai târziu că pachetele de energie erau reale. El a arătat că lumina e alcătuită din pachete: particule de lumină, pe care astăzi le numim „fotoni”. În introducerea la articolul său, Einstein scria:

Mi se pare că observațiile privind radiația corpului negru, fluorescența, producerea razelor catodice de către lumina ultravioletă și alte fenomene înrudite legate de emisia sau transformarea luminii sunt mai ușor de înțeles dacă presupunem că energia luminii e distribuită discontinuu în spațiu. Conform ipotezei considerate aici, energia unei raze de lumină emisă de o sursă punctiformă nu e distribuită în mod

continuu într-un spațiu care se extinde, ci constă într-un număr finit de „cuante de energie“ localizate în anumite puncte din spațiu, care se deplasează fără să se dividă și pot fi doar produse și absorbite ca unități întregi.

Aceste cuvinte simple și clare sunt adevăratul certificat de naștere al teoriei cuantice. Este de remarcat minunatul „Mi se pare că...” de la început, amintind de acel „Cred că...” prin care Darwin introduce în carnetul lui marea idee a evoluției speciilor, sau de „ezitarea” pomenită de Faraday când a propus noțiunea revoluționară de câmp magnetic. Geniile ezită.

Cercetările lui Einstein au fost la început tratate de colegi drept prostii juvenile ale unui tânăr altminteri scripitor. Pentru aceleași cercetări avea să primească mai apoi Premiul Nobel. Dacă Planck e părintele teoriei, Einstein este cel care a făcut-o să crească.

Așa cum se întâmplă însă cu toate progeniturile, teoria și-a urmat propriul drum, fără să mai fie recunoscută de Einstein. Danezul Niels Bohr a fost cel care, în al doilea și al treilea deceniu din secolul XX, i-a călăuzit dezvoltarea. Bohr a înțeles că, la fel ca în cazul luminii, energia electronilor din atomi poate lua numai anumite valori și că, lucru esențial, electronii pot doar „sări” între două orbite atomice cu energii fixate, emițând sau absorbind un foton atunci când sar. Acestea sunt faimoasele „salturi cuantice”. În institutul lui Bohr de la Copenhaga s-au reunit cele mai multe dintre tinerele minți scripitoare ale secolului ca să cerceteze și să ordoneze aceste aspecte derutante ale comportamentului lumii atomice, iar pornind de aici să construiască o teorie coerentă. În 1925 au apărut în fine ecuațiile teoriei, înlocuind întreaga mecanică a lui Newton.

E greu de închipuit o mai mare înfăptuire. Dintr-odată, totul devenea logic și puteai calcula orice. Iată un exemplu: vă amintiți de tabelul periodic al elementelor conceput de Mendeleev, în care sunt înșirate toate substanțele elementare ce alcătuiesc universul, de la hidrogen la uraniu, și care atârnă pe pereții atâtor săli de clasă? De ce sunt plasate elementele cu precizie unul aici, altul dincolo, de ce are tabelul această structură periodică și de ce au elementele proprietăți bine definite? Răspunsul este că fiecare element corespunde unei soluții a principalei ecuații a mecanicii cuantice. Întreaga chimie apare dintr-o singură ecuație.

Primul care a scris ecuațiile noii teorii, pornind de la idei amețitoare, a fost Werner Heisenberg, un tânăr german de geniu. Heisenberg și-a imaginat că electronii nu există *mereu*. Ei există doar când cineva sau ceva îi urmărește, sau,

mai bine zis, când interacționează cu altceva. Ei se materializează într-un loc, cu o probabilitate calculabilă, atunci când se ciocnesc cu altceva. „Salturile cuantice“ de pe o orbită pe alta sunt singurul lor mod de a fi „reali“: un electron e un ansamblu de salturi de la o interacție la alta. Când nimic nu-l perturbă, nu se află într-un loc bine determinat. Nici vorbă să se afle într-un „loc“.

Este ca și cum Dumnezeu n-ar fi desenat realitatea cu o linie fermă, ci ar fi trasat doar contururi punctate. În mecanica cuantică nici un obiect n-are o poziție bine definită dacă nu se ciocnește cu altul. Pentru a-l descrie în timp ce se află în zbor, între o interacție și alta, folosim o funcție matematică abstractă, fără corespondent direct în realitate, a cărei existență se limitează la spații matematice abstracte. Dar ce-i mai rău abia acum urmează: aceste salturi interactive prin care obiectele trec dintr-un loc într-altul nu se petrec într-un mod predictibil, ci la întâmplare. Nu poți prezice unde va reapărea un electron, poți doar calcula *probabilitatea* să se ivească aici sau acolo. Probabilitatea pătrunde așadar chiar în miezul fizicii, acolo unde totul părea să fie guvernat de legi ferme, universale și irevocabile.

Vi se pare absurd? I s-a părut absurd și lui Einstein. Pe de o parte, l-a propus pe Heisenberg pentru Premiul Nobel, recunoscând că acesta înțelesese ceva fundamental în privința lumii; pe de altă parte însă, n-a pierdut nici un prilej de a bodogăni că povestea asta n-are nici o noimă.

Tinerii lei din grupul de la Copenhaga erau consternați: cum e cu puțință ca tocmai Einstein să gândească așa? Părintele lor spiritual, omul care avusese curajul să gândească ceea ce era de negândit, făcea acum un pas înapoi și se temea de acest nou salt în necunoscut pe care el însuși îl declanșase. Același Einstein care arătase că timpul nu e universal, iar spațiul e curbat spunea acum că lumea nu poate fi *atât* de stranie.

Niels Bohr i-a explicat cu răbdare lui Einstein noile idei. Einstein a obiectat. A conceput experimente mintale pentru a demonstra că noile idei erau contradictorii: „Imaginează-ți o cutie plină de lumină din care lăsăm să iasă un singur foton...“ Așa începe unul dintre celebrele sale exemple, experimentul mental legat de „cutia cu lumină“. La urmă, Bohr izbutea mereu să găsească un răspuns cu care-i respingea obiecțiile. Ani de zile dialogul lor a continuat prin conferințe, scrisori, articole... În cursul schimbului de replici, cele două mari personalități au trebuit să retracteze, să se răzgândească. Einstein a fost nevoit să admită că, în realitate, nu apărea nici o contradicție în cadrul noilor idei. Bohr a fost nevoit să admită că lucrurile nu erau atât de simple și de clare pe cât crezuse

el la început. Einstein n-a cedat în problema care, pentru el, era esențială: există o realitate obiectivă, independent de ce cu ce interacționează. Bohr n-a cedat în privința validității modului profund înnoitor în care realul e conceptualizat de teoria cuantică. În cele din urmă, Einstein a acceptat că teoria era un uriaș pas înainte în înțelegerea lumii, dar a rămas convins că lucrurile nu pot fi atât de stranii, că „în spatele“ ei trebuie să fie o explicație mai rezonabilă.

A trecut un secol și ne aflăm în același punct. Ecuatiile mecanicii cuantice și consecințele lor sunt folosite zi de zi de fizicieni, ingineri, chimiști și biologi într-un spectru larg de domenii. Ele sunt extrem de folositoare în toate tehnologiile actuale. Fără mecanica cuantică n-am avea tranzistori. Și totuși, ele rămân misterioase, pentru că nu descriu ce se întâmplă cu un sistem fizic, ci doar felul în care un sistem fizic influențează alt sistem fizic.

Ce înseamnă asta? Că realitatea esențială a unui sistem e indescriptibilă? Înseamnă oare numai că ne lipsește o piesă din puzzle? Sau, așa cum cred eu, că trebuie să acceptăm ideea că realitatea e pur și simplu interacție? Cunoașterea noastră sporește, e limpede. Ea ne permite să facem noi lucruri care înainte vreme erau de neimaginat. Această creștere aduce însă cu sine noi întrebări. Noi mistere. Cei care folosesc în laboratoare ecuațiile teoriei își văd mai departe de treabă netulburați, dar, în articole și conferințe tot mai numeroase în ultima vreme, fizicienii și filozofii continuă să-și pună întrebări. La un secol de la nașterea ei, ce este de fapt teoria cuantică? O sondare în adâncime a naturii realității? O gafă care, din întâmplare, se dovedește a fi utilă? O parte a unui puzzle incomplet? Sau un indiciu privind un aspect profund al structurii lumii, pe care încă nu l-am înțeles bine?

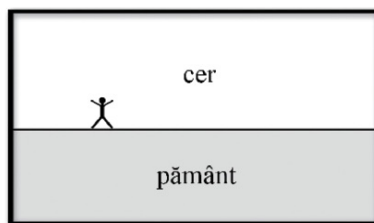
La moartea lui Einstein, Bohr, marele său rival, a rostit cuvinte de o emoționantă admirație. Câțiva ani mai târziu, când a murit și Bohr, cineva a luat o fotografie care era prinsă pe tabla neagră din biroul său. În fotografie era un desen – „cutia cu lumină“ din experimentul mintal al lui Einstein. Până în ultima clipă, dorința de a se confrunta și a înțelege mai mult. Până în ultima clipă, îndoiala.

Lecția a treia

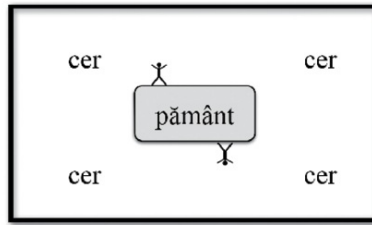
Arhitectura cosmosului

În prima jumătate a secolului XX Einstein a descris structura spațiului și timpului, iar Niels Bohr și tinerii săi discipoli au surprins în ecuații strania natură cuantică a materiei. În a doua jumătate a secolului, fizicienii au construit pe baza acestor două noi teorii, aplicându-le unui spectru larg de domenii, de la structura microscopică a universului la microcosmosul particulelor elementare. Despre prima vorbesc în această lecție, despre cel de-al doilea în lecția următoare.

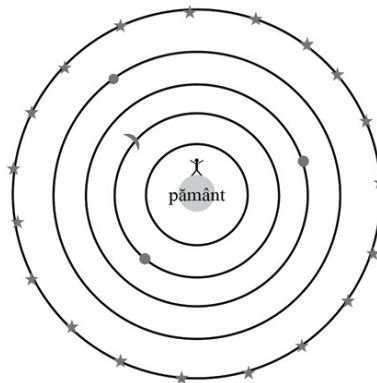
Voi apela din plin la desene simple. Motivul este că știința, înainte de a face apel la experimente, măsurători, matematică și deducții riguroase, se întemeiază pe reprezentări vizuale. Știința este, mai presus de toate, o activitate vizuală. Gândirea științifică e alimentată de capacitatea de a „vedea” lucrurile altfel decât le-ai văzut înainte. Îmi propun să ofer aici prezentarea ultrasimplificată a unei călătorii printre reprezentările vizuale. Iată prima imagine:



Așa a fost conceput cosmosul vreme de milenii: Pământul – dedesubt, cerul – deasupra. Prima mare revoluție științifică, înlăptuită de Anaximandru cu douăzeci și șase de secole în urmă, în încercarea de a înțelege cum e posibil ca Soarele, Luna și stelele să se rotească în jurul nostru, a înlocuit imaginea de mai sus a cosmosului cu aceasta:

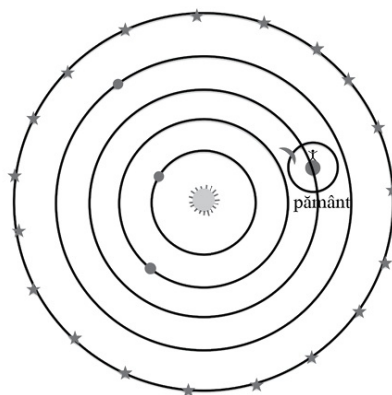


Acum cerul se afla de jur-împrejurul Pământului, nu doar deasupra lui, iar Pământul era o piatră imensă care plutea suspendată prin spațiu, fără să cadă. Nu peste mult timp, cineva (poate Parmenide, poate Pitagora) și-a dat seama că sfera era forma cea mai rezonabilă pentru acest Pământ care zbura, fiindcă toate direcțiile sunt echivalente – iar Aristotel a găsit argumente științifice convingătoare pentru a confirma natura sferică a Pământului și a cerurilor din jurul lui, unde corpurile cerești își urmau traiectoriile. Iată imaginea corespunzătoare a cosmosului:



Iar acest cosmos, așa cum e descris de Aristotel în *Despre cer*, este imaginea lumii care a rămas caracteristică pentru civilizația mediteraneeană până la sfârșitul Evului Mediu. Este imaginea lumii pe care au studiat-o la școală Dante și Shakespeare.

Următorul salt a fost înfăptuit de Copernic, inaugurând ceea ce numim astăzi marea revoluție științifică. Lumea lui Copernic nu arată foarte diferit de cea a lui Aristotel:



Există însă o diferență esențială. Reluând o idee apărută încă din Antichitate, Copernic a înțeles că nu Pământul e centrul în jurul căruia dansează planetele, ci Soarele. Pământul e doar una dintre planete. El se învâрте rapid în jurul axei sale și se rotește în jurul Soarelui.

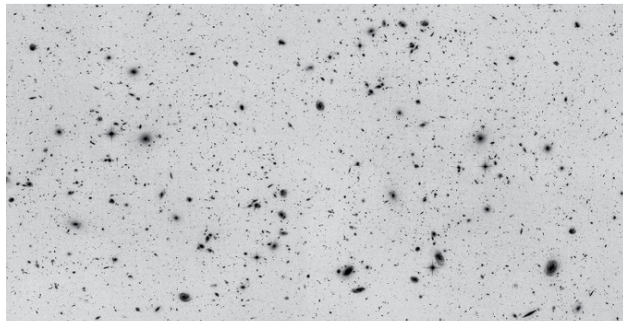
Volumul cunoștințelor a continuat să crească și, dispunând de instrumente mai bune, am descoperit curând că însuși sistemul solar e doar unul printre nenumărate altele, iar Soarele nu-i decât o stea la fel ca celelalte. Un grăunte infimezimal într-un imens nor de o sută de miliarde de stele – galaxia:



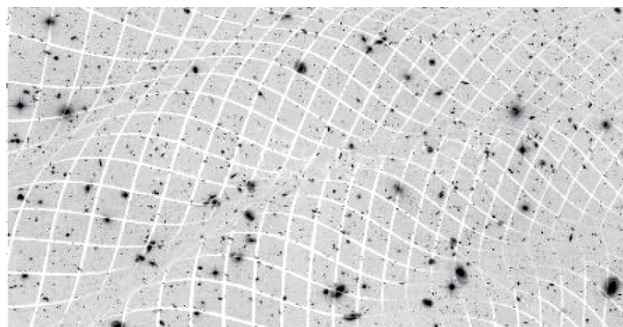
Însă în anii '30 ai secolului XX, măsurătorile precise ale astronomilor asupra nebuloaselor – mici nori albicioși răspândiți printre stele – au arătat că galaxia însăși e un fir de praf într-un nor uriaș de galaxii care se extinde atât cât pot vedea ochii noștri folosind cele mai puternice telescoape. Lumea a devenit acum o nesfârșită întindere uniformă.

Ilustrația de mai jos nu e un desen, ci o fotografie făcută de telescopul spațial Hubble, care ne prezintă o imagine a cerului ajungând la profunzimi neatinse de telescoapele obișnuite. Dacă am privi cu ochiul liber această porțiune de cer, ea ar fi doar un petic minuscul de firmament negru. Prin telescopul Hubble însă, vedem mici pete răspândite la distanțe enorme. Fiecare pată din imagine e o galaxie conținând o sută de miliarde de sori ca al nostru. În ultimii ani s-a

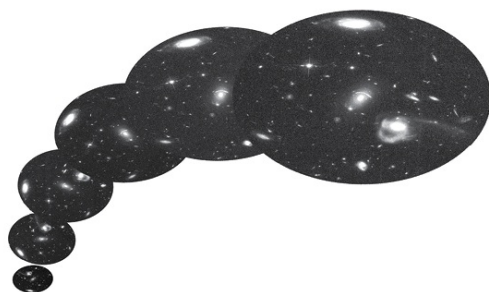
observat că majoritatea acestor sori au planete care se rotesc în jurul lor. Există așadar în univers mii de miliarde de miliarde de miliarde de planete precum Pământul. Iar în orice direcție am privi, iată ce vedem:



Dar nici această uniformitate nesfârșită nu este ceea ce pare. După cum am arătat în lecția întâi, spațiul nu e plat, ci curb. Trebuie să ne închipuim că textura universului, cu pulberea lui de galaxii, e străbătută de unde asemănătoare valurilor de pe suprafața mării, uneori atât de violente încât creează golurile care sunt găurile negre. Să apelăm așadar din nou la un desen, pentru a reprezenta universul brăzdat de valuri imense:



În fine, știm astăzi că acest uriaș cosmos elastic, împânzit de galaxii și extins vreme de cincisprezece miliarde de ani, a apărut dintr-un nor mic, fierbinte și dens. Pentru a reprezenta această idee trebuie să desenăm nu universul, ci întreaga lui istorie. Iat-o aici, redată schematic:



Universul a început ca o minge minusculă, și a explodat pentru a ajunge la dimensiunile cosmice actuale. Aceasta e imaginea pe care ne-o facem în prezent despre univers, la cea mai mare scară accesibilă nouă.

Există și altceva? A mai fost ceva înainte? Poate că da. Voi vorbi despre asta puțin mai târziu. Există alte universuri asemănătoare sau diferite de al nostru? Nu știm.

Lecția a patra

Particule

Universul descris în lecția precedentă e străbătut de lumină și obiecte. Lumina este alcătuită din fotoni, particulele de lumină intuite de Einstein. Obiectele pe care le vedem sunt alcătuite din atomi. Fiecare atom constă într-un nucleu înconjurat de electroni. Fiecare nucleu constă în protoni și neutroni strâns legați laolaltă. Protonii și neutronii sunt alcătuiți din particule și mai mici, pe care fizicianul american Murray Gell-Mann le-a numit „cuarci“, inspirat de o frază aparent absurdă din romanul lui James Joyce *Veghea lui Finnegan*: „Three quarks for Muster Mark!“ [Trei cuarci pentru musiu Mark!] Tot ce atingem este deci alcătuit din electroni și din acești cuarci.

Forța care „lipește“ cuarcii în interiorul protonilor și neutronilor e generată de particule pe care fizicienii, cu un simț al ridicolului cam discret, le numesc „gluoni“, de la cuvântul englezesc pentru lipici, *glue*.

Electronii, cuarcii, fotonii și gluonii sunt componentele a tot ce se mișcă prin spațiu în jurul nostru. Sunt „particulele elementare“ de care se ocupă fizica particulelor. La aceste particule se mai adaugă câteva, cum ar fi neutrini care mișună prin univers, dar interacționează prea slab cu noi, și „bosonii Higgs“ recent detectați la Geneva, în Marele Accelerator de Hadroni de la CERN.⁴ În total însă nu sunt prea multe particule – ceva mai puțin de zece tipuri. Câteva ingrediente elementare care se comportă precum piesele unui imens joc de Lego, și din care e construită întreaga realitate materială înconjurătoare.

Natura acestor particule și felul în care se mișcă ele sunt descrise de mecanica cuantică. Particulele nu sunt așadar ca niște pietricele, ci sunt „cuante“ corespunzând câmpurilor, așa cum fotonii sunt „cuantele“ câmpului electromagnetic. Ele sunt excitații elementare ale unui substrat mobil asemănător câmpului lui Faraday și Maxwell. Minuscule unde în mișcare. Ele dispar și reapar, în conformitate cu legile bizare ale mecanicii cuantice, unde tot ce există e mereu instabil și nu-i decât un salt de la o interacție la alta.

Chiar și dacă observăm o mică regiune de spațiu gol, în care nu există atomi,

tot vom detecta o infimă colcăială a acestor particule. Nu există cu adevărat vid, un spațiu care să fie complet gol. Așa cum, privită îndeaproape, până și cea mai liniștită dintre mări se leagănă și tremură fie cât de slab, câmpurile care alcătuiesc lumea sunt supuse unor minuscule fluctuații, și ne putem închipui că particulele de bază ale lumii au existențe efemere, fiind în permanență create și distruse de aceste mișcări.

Așa arată lumea conform mecanicii cuantice și teoriei particulelor. Ne-am îndepărtat mult de lumea mecanică a lui Newton și Laplace, unde mici pietricele reci se deplasează veșnic de-a lungul unor traiectorii precise, într-un spațiu cu o geometrie fixă. Mecanica cuantică și experimentele cu particule ne-au învățat că lumea e o colcăială continuă, neobosită a unor entități efemere, o permanentă apariție și dispariție a lor. Un ansamblu de vibrații, ca în hiperexcitata lume hipiotă a anilor '60. O lume a evenimentelor, nu a lucrurilor.

Detaliile teoriei particulelor au fost treptat elaborate în anii '50, '60 și '70 de unii dintre cei mai mari fizicieni ai secolului, cum ar fi Richard Feynman și Gell-Mann. Această operă de construcție a condus la o teorie complicată, bazată pe mecanica cuantică și purtând numele nu prea seducător de „model standard al particulelor elementare“. „Modelul standard“ a fost pus la punct în anii '70, după o lungă serie de experimente care au confirmat toate predicțiile. Confirmarea finală a venit în 2013, odată cu descoperirea bosonului Higgs.

Și totuși, în ciuda seriei de succese experimentale, fizicienii n-au luat niciodată cu totul în serios modelul standard. Este o teorie care, cel puțin la prima vedere, pare o adunătură pestriță. Ea e alcătuită din diverse fragmente și ecuații puse laolaltă fără vreo ordine clară. Anumite câmpuri (dar de ce tocmai acestea?) interacționează între ele cu anumite forțe (dar de ce tocmai aceste forțe?), fiecare determinată de anumite constante (dar de ce exact cu aceste valori?), manifestând anumite simetrii (dar, iarăși, de ce tocmai aceste simetrii?). Suntem departe de simplitatea ecuațiilor din relativitatea generală și din mecanica cuantică.

Chiar și calea prin care ecuațiile modelului standard conduc la predicții despre lume e ridicol de întortocheată. Folosite direct, ecuațiile dau predicții absurde – toate cantitățile calculate sunt infinite. Pentru a obține rezultate rezonabile, parametrii care intră în ele sunt ei înșiși infiniți, ca să contrabalanseze rezultatele absurde. Acest procedeu întortocheat și baroc poartă numele de „renormare“. Funcționează în practică, dar îi lasă un gust amar oricui vrea să găsească în natură simplitatea. În ultimii ani de viață ai celui mai mare om de știință din

secolul XX după Einstein, Paul Dirac, arhitectul mecanicii cuantice și autorul primelor și principalelor ecuații ale modelului standard, și-a exprimat în repetate rânduri nemulțumirea față de această stare de lucruri. „Încă n-am rezolvat problema“, spunea el.

În plus, a apărut în ultimii ani o limitare frapantă a modelului standard. În jurul fiecărei galaxii astronomii au observat un nor de materie care își dezvăluie existența prin atracția gravitațională exercitată asupra stelelor și prin felul în care deviază lumina. Dar acest nor, ale cărui efecte gravitaționale le observăm, nu poate fi văzut direct, și nu știm din ce e compus. Au fost propuse mai multe ipoteze, însă nici una nu pare să funcționeze. E limpede că există *ceva* acolo, dar nu știm ce – și numim acel lucru „materie întunecată“. Dovezile ne arată că acel *ceva* *nu* este descris de modelul standard, altminteri l-am vedea. Altceva decât atomi, neutrini sau fotoni...

Nu e de mirare că mai multe-s pe pământ și-n cer, dragă cititorule, decât închipuie filozofia noastră⁵ – sau fizica noastră. Până de curând nici nu bănuiam existența undelor radio și a neutrinilor care umplu universul. Modelul standard rămâne cel mai bun pe care-l avem azi pentru a descrie lumea obiectelor, toate predicțiile lui au fost confirmate, iar lăsând la o parte materia întunecată – și gravitația, reprezentată în teoria relativității generale prin curbarea spațiului-timp –, descrie bine toate aspectele pe care le percepem.

Au fost avansate teorii alternative, dar experimentele le-au demolat. În anii '70, de pildă, a fost propusă o frumoasă teorie purtând numele SU(5) pentru a înlocui ecuațiile dezordonate ale modelului standard cu o structură mai simplă și mai elegantă. Teoria prezicea că protonul se poate dezintegra, cu o anumită probabilitate, descompunându-se în particule mai ușoare. Au fost construite dispozitive mari pentru a observa dezintegrarea protonilor. Unii fizicieni și-au închinat viața încercării de a observa un proton care se dezintegrează. (Nu urmărești câte un proton, fiindcă durează prea mult până se dezintegrează. Iei tone de apă și le înconjori cu detectori sensibili pentru a observa efectele dezintegrării.) Dar, vai, n-a fost văzut nici un proton dezintegrându-se. Frumoasa teorie SU(5), în ciuda eleganței sale remarcabile, n-a fost pe placul bunului Dumnezeu.

Povestea pare să se repete acum cu un grup de teorii numite „supersimetrice“, care prezic existența unei noi clase de particule. De-a lungul întregii mele cariere de fizician am auzit colegi care așteptau cu deplină încredere apariția iminentă a acestor particule. Au trecut zile, luni, ani, decenii – și particulele supersimetrice

tot nu s-au ivit. Fizica nu e numai o istorie a succeselor.

Așa că, deocamdată, trebuie să ne mulțumim cu modelul standard. Poate că nu e elegant, dar funcționează uimitor de bine pentru a descrie lumea din jurul nostru. Și apoi, cine știe? Dacă cercetăm mai atent, descoperim, poate, că nu modelului îi lipsește eleganța. Poate că noi n-am învățat încă să-l privim din perspectiva corectă, cea care să dezvăluie simplitatea lui ascunsă.

Iată așadar ce știm deocamdată despre materie: câteva tipuri de particule elementare, care vibrează și fluctuează permanent între existență și inexistență, mișună prin spațiu chiar și atunci când pare să nu fie nimic acolo, se combină la nesfârșit precum literele unui alfabet cosmic pentru a spune marea istorie a galaxiilor, a nenumăratelor stele, a luminii Soarelui, a munților, pădurilor și câmpiilor cu lanuri de grâne, a fețelor zâmbitoare de tineri petrecăreți și a firmamentului împânzit de stele.

Note

[4.](#) Vezi, de pildă, Jim Baggott, *Higgs. Inventarea și descoperirea „Particulei lui Dumnezeu”*, Editura Humanitas, București, 2015. (N. t.)

[5.](#) Trimitere la *Hamlet*, actul I, scena a V-a. (N. t.)

Lecția a cincea

Grăunțe de spațiu

În ciuda unor neclarități, imperfecțiuni și probleme rămase în suspensie, fizica pe care am schițat-o aici oferă o descriere a lumii mai bună decât tot ce am avut în trecut. Ar trebui deci să fim destul de mulțumiți. Dar nu suntem.

Există un paradox în chiar miezul felului nostru de a înțelege lumea. Secolul XX ne-a dăruit cele două nestemate despre care am vorbit: relativitatea generală și mecanica cuantică. Din prima s-a dezvoltat cosmologia, împreună cu astrofizica, studiul undelor gravitaționale, al găurilor negre și multe altele. A doua a constituit piatra de temelie pentru fizica atomică, fizica nucleară, fizica particulelor elementare, fizica stării condensate și multe, multe alte domenii. Două teorii darnice, fundamentale pentru tehnologia de azi și care ne-au transformat viețile. Și totuși, ele nu pot fi amândouă corecte, cel puțin în forma lor actuală, pentru că se contrazic reciproc.

Un student care dimineața audiază un curs de relativitate generală, iar după-amiaza unul de mecanică cuantică ar putea trage concluzia că profesorii lui sunt neghiobi ori nu s-au învrednicit să comunice între ei de un secol. Dimineața lumea e un spațiu curb în care totul e continuu, după-amiaza lumea e un spațiu plat în care cuantele de energie efectuează salturi.

Paradoxul este că ambele teorii funcționează remarcabil de bine. Natura seamănă cu acel rabin la care vin doi oameni ca să tranșeze o dispută. După ce-l ascultă pe primul, rabinul zice: „Ai dreptate.” Al doilea insistă să vorbească și el, rabinul îl ascultă și zice: „Și tu ai dreptate.” Nevasta rabinului, care l-a auzit din camera alăturată, strigă: „Dar nu pot avea amândoi dreptate!” Rabinul stă o clipă pe gânduri, apoi spune: „Ai dreptate și tu.”

Un grup de fizicieni teoreticieni împrăștiați pe cele cinci continente se străduiește din greu să tranșeze chestiunea. Domeniul lor de studiu se numește „gravitație cuantică”: obiectivul lor este să găsească o teorie, adică un set de ecuații, dar mai cu seamă o perspectivă coerentă asupra lumii prin care să iasă din schizofrenie.

Nu e prima dată când fizica se confruntă cu două teorii de mare succes, dar aparent contradictorii. Efortul de a sintetiza a fost răsplătit în trecut cu mari progrese în înțelegerea lumii. Newton a descoperit gravitația universală combinând parabolele lui Galilei cu elipsele lui Kepler. Maxwell a ajuns la ecuațiile electromagnetismului combinând teoria electricității cu cea a magnetismului. Einstein a descoperit relativitatea rezolvând o contradicție aparentă între electromagnetism și mecanică. Fizicienii nu pot decât să se bucure când dau peste o asemenea contradicție între două teorii de succes: este o șansă extraordinară. Putem oare construi un cadru conceptual care să ne dea o perspectivă asupra lumii compatibilă cu ce ne spun *ambele* teorii?

Dincolo de frontierele cunoașterii, în avangardă, unde se forjează noile idei, intuiții și încercări, unde se deschid drumuri, pentru a fi apoi abandonate, în efortul de a imagina ceea ce n-a fost încă imaginat, știința devine și mai frumoasă.

Cu douăzeci de ani în urmă ceața era deasă. Astăzi au apărut piste care au trezit entuziasmul și optimismul. Fiind vorba de mai multe piste, nu putem spune că problema a fost rezolvată. Multitudinea generează controverse, dar dezbaterea e bine-venită: până când ceața nu se risipește complet, avem nevoie de spirit critic și puncte de vedere opuse. Una dintre principalele încercări de a rezolva problema este o direcție de cercetare numită „gravitația cuantică cu bucle“, urmată de o echipă numeroasă de cercetători din mai multe țări.

Gravitația cuantică cu bucle este o tentativă de a combina relativitatea generală și mecanica cuantică.⁶ E o încercare prudentă, fiindcă folosește doar ipoteze deja conținute în aceste teorii, rescrise pentru a le face reciproc compatibile. Consecințele ei sunt însă radicale: o nouă modificare profundă a felului în care privim structura realității.

Ideea e simplă. Relativitatea generală ne-a învățat că spațiul nu e un recipient inert, ci o entitate dinamică: un fel de imensă scoică mobilă care ne conține, și care poate fi comprimată și răsucită. Pe de altă parte, mecanica cuantică ne-a învățat că toate câmpurile de acest fel sunt „constituite din cuante“ și au o structură fină, granulară. Rezultă de aici că și spațiul fizic e „constituit din cuante“.

Predicția principală a gravitației cuantice cu bucle este aceea că spațiul nu e continuu, nu e infinit divizibil, ci e alcătuit din grăunțe sau „atomi de spațiu“. Ele sunt minuscule: de un miliard de miliarde de ori mai mici decât cel mai mic nucleu atomic. Teoria descrie acești atomi de spațiu într-o formă matematică și

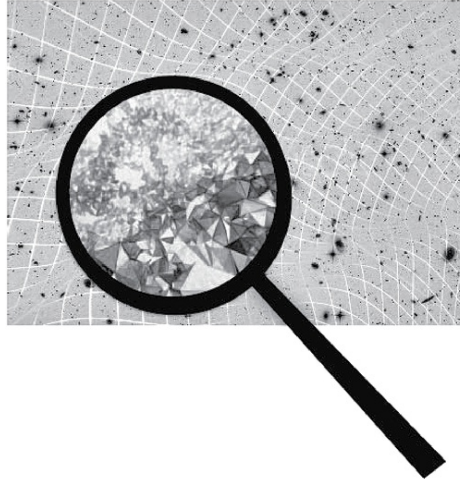
oferă ecuațiile care determină evoluția lor. Ei se numesc „bucle“ sau inele, pentru că sunt legați între ei, formând o rețea de relații care „țese“ textura spațiului, ca inelele împletite fin în urzeala unei zale imense.

Unde se află aceste cuante de spațiu? Nicăieri. Nu se află în spațiu, fiindcă ele însele sunt spațiul. Spațiul e creat prin interacția acestor cuante individuale de gravitație. Vedem încă o dată că lumea înseamnă mai curând relații interactive decât obiecte.

A doua consecință a teoriei este însă și mai tulburătoare. Așa cum dispare ideea de spațiu continuu care conține obiecte, dispare și ideea de „timp“ elementar și primar care se scurge independent de obiecte. Ecuațiile care descriu grăunțele de spațiu și materie nu mai conțin variabila „timp“.

Asta nu înseamnă că totul e imobil și neschimbător. Dimpotrivă, înseamnă că schimbarea e ubicuă – dar procesele elementare nu pot fi ordonate într-o succesiune comună de „momente“. La scara minusculă a grăunțelor de spațiu, dansul naturii nu se desfășoară după ritmul baghetei unui singur dirijor, într-un singur tempo; fiecare proces dansează independent de vecini, în ritmul lui propriu. Scurgerea timpului e interioară lumii, se naște în lumea însăși din relațiile între evenimente cuantice care constituie lumea și sunt sursa timpului.

Lumea descrisă de teorie se îndepărtează așadar și mai mult de cea cu care suntem obișnuiți. Nu mai există un spațiu care „conține“ lumea, și nu mai există un timp „în care“ au loc evenimentele. Există doar procese elementare în care cuante de spațiu și de materie interacționează permanent între ele. Iluzia spațiului și timpului continue care ne înconjoară este doar vederea încețosată a acestei colcăieli de procese elementare, așa cum un lac liniștit de munte e constituit de fapt din dansul nebunesc al unei mulțimi imense de molecule de apă.



Dacă am privi penultima imagine din lecția a treia printr-o lupă care mărește enorm, până la cele mai fine detalii imaginabile, ar trebui să vedem structura granulară a spațiului:

E posibil să testăm experimental această teorie? Este o problemă pe care ne-o punem cu asiduitate, dar n-avem încă nici un test experimental. Există totuși câteva propuneri.

Una dintre ele se leagă de studierea găurilor negre. Putem observa acum pe firmament formarea unor găuri negre prin colapsarea stelelor. Zdrobită de propria-i greutate, materia acestor stele s-a restrâns până a dispărut din fața ochilor noștri. Unde s-a dus? Dacă teoria gravitației cuantice cu bucle e corectă, materia nu putea să fi colapsat până într-un punct infinitesimal, fiindcă nu există puncte infinitesimale, ci doar regiuni finite de spațiu. Prăbușindu-se sub propria-i greutate, materia va fi devenit tot mai densă, până când mecanica cuantică va fi exercitat o presiune în sens invers, capabilă să contrabalanseze greutatea.

În această ipotetică etapă finală din viața unei stele, în care fluctuațiile cuantice ale spațiului-timp echilibrează greutatea materiei, steaua devine o „stea Planck“. Dacă Soarele ar înceta să ardă și ar forma o gaură neagră, aceasta ar avea o rază de aproximativ un kilometru și jumătate.⁷ În interiorul acestei găuri negre materia solară ar continua să colapseze, devenind în cele din urmă o stea Planck. Dimensiunea ei ar fi cam aceea a unui atom. Întreaga masă solară condensată în spațiul unui atom – din această stare extremă a materiei ar trebui să fie compusă o stea Planck.

O stea Planck nu e stabilă: odată comprimată la maximum, ea începe să se dilate, ceea ce conduce la explozia găurii negre. Acest proces, privit de un observator ipotetic aflat în interiorul găurii negre pe steaua Planck, ar fi un

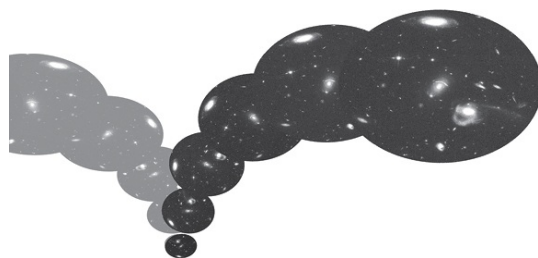
ricoșeu extrem de rapid. Dar timpul nu se scurge la fel de repede pentru un observator din interior ca pentru unul din afara găurii negre, din același motiv pentru care timpul se scurge mai repede la munte decât la nivelul mării. Cu deosebirea că, din cauza condițiilor extreme, diferența în scurgerea timpului e enormă: ceea ce pentru observatorul aflat pe stea e un ricoșeu extrem de rapid, privit din afară va părea că durează foarte mult timp. De aceea observăm că găurile negre rămân neschimbate timp îndelungat: o gaură neagră este o stea care ricoșează dilatându-se într-o mișcare mult încetinită.

Este posibil ca în furnalul primelor momente de viață ale universului să se fi format găuri negre, iar unele dintre ele să explodeze acum. Dacă e adevărat, am observa, poate, semnalele pe care le emit în cursul exploziei sub forma unor radiații cosmice de energie înaltă, ceea ce ne-ar permite să punem în evidență și să măsurăm un efect direct al unui fenomen guvernat de gravitația cuantică. Este o idee îndrăzneță, și s-ar putea să nu funcționeze – de pildă, dacă în universul primordial nu s-au format destule găuri negre pentru a ne permite să le detectăm acum exploziile. Rămâne de văzut.

Altă consecință a teoriei, una dintre cele mai spectaculoase, e legată de originea universului. Întorcându-ne în timp, putem reconstitui istoria lumii noastre până când era de dimensiuni minuscule. Dar ce-a fost înainte? Ei bine, ecuațiile teoriei buclelor ne permit să ne întoarcem și mai mult în timp pentru a reconstitui acea istorie.

Aflăm că atunci când universul e extrem de comprimat, conform teoriei cuantice, apare o forță repulsivă – așa încât big bang-ul, „marea explozie“, s-ar putea să fi fost de fapt un *big bounce*, adică un „mare ricoșeu“. Lumea noastră s-ar putea să se fi născut dintr-un univers anterior care s-a contractat sub propria-i greutate până când a fost redus la un spațiu minuscule, pentru a „ricoșa“ apoi și a reîncepe să se extindă, devenind universul în expansiune pe care îl observăm astăzi în jurul nostru.⁸

Momentul acestui ricoșeu, când universul era comprimat într-o coajă de nucă, este prin excelență domeniul gravitației cuantice: timpul și spațiul au dispărut cu totul, iar lumea s-a dizolvat în colcăiala unui nor de probabilitate pe care totuși ecuațiile îl pot încă descrie. Prin urmare, imaginea finală din lecția a treia devine:



Universul nostru s-ar putea să se fi născut din ricoșeul unei faze anterioare, trecând printr-o fază intermediară în care n-au existat nici timp, nici spațiu.

Fizica deschide o fereastră prin care privim în depărtare, iar ceea ce vedem nu încetează să ne uimească. Ne dăm seama că suntem plini de idei preconcepute și că imaginea noastră intuitivă despre lume e parțială, limitată, inadecvată. Lumea continuă să se modifice sub ochii noștri, pe măsură ce o vedem tot mai bine. Pământul nu e plat, nu e imobil. Dacă încercăm să punem laolaltă tot ce am aflat despre lumea fizică, indiciile ne îndrumă către ceva profund diferit de ideile noastre intuitive despre materie, spațiu și timp. Gravitația cuantică cu bucle e o tentativă de a descifra aceste indicii și de a privi puțin mai departe.

Note

[6.](#) Pentru o prezentare mai amplă a gravitației cuantice cu bucle, vezi Martin Bojowald, *Ce a fost înainte de big bang* (Editura Humanitas, București, 2016). (N. t.)

[7.](#) E vorba de raza orizontului evenimentelor. Orizontul evenimentelor este acea suprafață din jurul găurii negre care separă zona (exterioară) în care lumina nu e capturată de gaura neagră de zona (interioară) din care lumina nu mai poate evada. În continuare, când Rovelli vorbește despre „interiorul găurii negre“, el se referă la ceea ce se află înăuntrul orizontului evenimentelor. (N. t.)

[8.](#) La o concluzie cosmologică asemănătoare ajunge și teoria corzilor – o altă teorie care, la fel ca gravitația cuantică cu bucle, încearcă să unifice gravitația cu mecanica cuantică. Vezi Brian Greene, *Universul elegant* (Editura Humanitas, București, 2010). (N. t.)

Lecția a șasea

Probabilitate, timp și căldura găurilor negre

Alături de teoriile importante despre care am vorbit, și care descriu constituenții elementari ai lumii, există un alt mare domeniu al fizicii, oarecum diferit de celelalte. Întrebarea care l-a generat pe neașteptate a fost: „Ce este căldura?”

Până pe la mijlocul secolului XIX, fizicienii au încercat să înțeleagă căldura concepând-o ca pe un fel de fluid numit „caloric”, sau ca pe două fluide, unul fierbinte, celălalt rece, dar ideea s-a dovedit a fi greșită. În cele din urmă, James Maxwell și fizicianul austriac Ludwig Boltzmann au înțeles. Iar ceea ce au înțeles e minunat, straniu și profund – și ne conduce pe un teritoriu rămas încă în mare parte neexplorat.

Ei și-au dat seama că o substanță caldă nu-i o substanță care conține fluid caloric. O substanță caldă e o substanță în care atomii se mișcă mai repede. Atomii și moleculele, mici grupuri de atomi legați între ei, se află în permanentă mișcare. Aleargă, vibrează, ricoșează etc. Aerul rece e aerul în care atomii, sau mai bine zis moleculele, aleargă mai încet. Aerul cald e aerul în care moleculele aleargă mai repede. Simplu și frumos. Dar asta nu e totul.

Căldura, după cum știm, trece de la corpurile calde la corpurile reci. O linguriță rece pusă într-o ceașcă de ceai fierbinte devine și ea fierbinte. Dacă nu ne îmbrăcăm gros într-o zi geroasă, pierdem repede căldura și trupul nostru se răcește. De ce trece căldura de la corpurile calde la corpurile reci, și nu invers?

E o întrebare esențială, fiindcă se leagă de natura timpului. Într-adevăr, în toate cazurile în care schimbul de căldură nu are loc, sau căldura schimbată e neglijabilă, vedem că viitorul se comportă exact la fel ca trecutul. De pildă, pentru mișcarea planetelor din sistemul solar căldura e aproape irelevantă, iar această mișcare ar putea la fel de bine să se desfășoare invers, fără ca legile fizicii să fie încălcate. De îndată ce apare însă căldura, viitorul se deosebește de trecut. De exemplu, dacă nu există frecare, un pendul poate oscila la nesfârșit. Dacă îl filmăm și derulăm filmul invers, vedem o mișcare perfect posibilă. Dar

dacă există frecare, pendulul încălzește puțin suportul de care e prins, pierde energie și mișcarea lui e încetinită. Frecarea produce căldură. Atunci putem imediat deosebi viitorul (în care pendulul încetinește) de trecut. N-am văzut niciodată un pendul aflat în repaus care să înceapă să oscileze, mișcarea fiind inițiată de energia obținută prin absorbția căldurii de la suportul său.

Diferența dintre trecut și viitor apare doar atunci când există căldură. Fenomenul fundamental care distinge viitorul de trecut este trecerea inevitabilă a căldurii de la obiectele mai calde la obiectele mai reci. Să revenim așadar la întrebarea noastră esențială: de ce trece căldura de la corpurile mai calde la corpurile mai reci, și nu invers?

Motivul a fost descoperit de Ludwig Boltzmann și e surprinzător de simplu: este hazardul. Ideea lui Boltzmann e subtilă și aduce în prim-plan noțiunea de probabilitate. Căldura nu trece de la corpurile calde la corpurile reci datorită unei legi absolute, ci o face doar cu o mare probabilitate. Motivul este acela că e mult mai probabil statistic ca, la ciocnirea unui atom rapid dintr-o substanță caldă cu un atom lent dintr-o substanță rece, primul să-i cedeze celui de-al doilea o parte din energia sa, și nu invers. În cursul ciocnirilor energia se conservă, dar tinde să fie distribuită în părți aproximativ egale atunci când au loc multe ciocniri. Astfel, temperaturile obiectelor aflate în contact tind să se egaleze. Nu e imposibil ca un corp cald să devină și mai cald prin contact cu un corp rece, e doar extrem de improbabil.

Această introducere a *probabilității* în chiar miezul fizicii și folosirea ei pentru a explica bazele dinamicii căldurii au fost considerate la început absurde. Așa cum se întâmplă adesea, nimeni nu l-a luat în serios pe Boltzmann. Pe 5 septembrie 1906, la Duino, lângă Trieste, el s-a sinucis spânzurându-se, fără să fi apucat să vadă că valabilitatea ideilor sale e recunoscută de toată lumea.

Dar cum a intrat probabilitatea în miezul fizicii? În lecția a doua am arătat că, în conformitate cu mecanica cuantică, mișcarea particulelor microscopice are loc în mod aleatoriu. Și în acel caz probabilitatea joacă deci un rol, dar probabilitatea despre care vorbește Boltzmann, cea legată de căldură, are o natură diferită și e independentă de mecanica cuantică. Probabilitatea care intervine în știința căldurii ține, într-un anumit sens, de *ignoranța* noastră.

S-ar putea ca eu să nu cunosc un lucru cu certitudine, dar îi pot atribui un grad mai mic sau mai mare de probabilitate. De pildă, nu știu dacă la Marsilia mâine va ploua, va fi senin sau va ninge, dar probabilitatea ca mâine să ningă – la Marsilia, în august – e mică. La fel se întâmplă cu majoritatea obiectelor din

fizică: știm ceva despre starea lor, dar nu știm totul, și putem face doar predicții întemeiate pe probabilități. Gândiți-vă la un balon umplut cu aer. Îi pot măsura forma, volumul, presiunea, temperatura... Dar moleculele de aer din interiorul balonului se mișcă rapid, iar eu nu cunosc poziția exactă a fiecăreia dintre ele. Asta mă împiedică să prezic cu precizie comportamentul balonului. De pildă, dacă dezleg nodul care-l menține etanș, el se va dezumfla scoțând un zgomot caracteristic, zburând de colo-colo într-un fel pe care mi-e imposibil să-l prezic. Imposibil – pentru că eu îi cunosc doar forma, volumul, presiunea și temperatura. Traectoria în zigzag urmată de el depinde de pozițiile precise ale moleculelor din interiorul lui, pe care nu le cunosc.

Însă, chiar dacă nu pot prezice totul cu exactitate, pot prezice probabilitatea ca un lucru sau altul să se întâmple. Va fi extrem de improbabil, de pildă, ca balonul să zboare pe fereastră, să înconjoare felinarul aflat la mare distanță și să se întoarcă pentru a ateriza în mâna mea, în locul de unde i-am dat drumul. Unele comportamente sunt mai probabile, altele mai improbabile.

În același sens, se poate calcula probabilitatea ca, la ciocnirea moleculelor, căldura să treacă de la corpurile mai calde la corpurile mai reci, și ea se dovedește a fi mult mai mare decât probabilitatea trecerii căldurii către corpul mai cald.

Domeniul fizicii care se ocupă de asemenea lucruri se numește fizică statistică, iar unul dintre marile ei succese, de la Boltzmann încoace, a fost acela de a înțelege natura probabilistică a căldurii și temperaturii, adică a termodinamicii.

La prima vedere, ideea că ignoranța noastră are implicații asupra comportamentului lumii pare irațională: lingurița rece se încălzește în ceaiul fierbinte și balonul își ia zborul când e lăsat liber indiferent de ceea ce știu sau nu știu eu. Ce legătură există între ce știm sau ce nu știm și legile care guvernează lumea? Întrebarea e legitimă, iar răspunsul e subtil.

Lingurița și balonul se comportă așa cum trebuie să se comporte, în conformitate cu legile fizicii și absolut independent de ceea ce știm sau nu știm despre ele. Predictibilitatea sau impredictibilitatea comportamentului lor nu se referă la starea lor exactă, ci la setul limitat de proprietăți ale lor cu care interacționăm. Acest set de proprietăți depinde de modul *nostru* specific de a interacționa cu lingurița sau cu balonul. Probabilitatea nu se referă la evoluția în sine a materiei, ci la evoluția acelor cantități cu care interacționăm. Iese astfel încă o dată la iveală natura profund relațională a conceptelor pe care le folosim

pentru a organiza lumea.

Lingurița rece se încălzește în ceaiul fierbinte pentru că lingurița și ceaiul interacționează cu noi printr-un număr limitat de variabile între nenumăratele variabile ce caracterizează stările lor microscopice. Valoarea *acestor* variabile nu e suficientă pentru a prezice cu exactitate comportamentul viitor (ca în cazul balonului), dar e suficientă pentru a prezice cu o probabilitate optimă că lingurița se va încălzi.

Sper că aceste distincții subtile nu l-au derutat pe cititor.

În cursul secolului XX, termodinamica (știința care se ocupă de căldură) și mecanica statistică (știința care se ocupă de probabilitățile asociate diferitelor mișcări) au fost extinse la fenomenele electromagnetice și cuantice. Extinderea lor la câmpul gravitațional s-a dovedit însă dificilă. Cum se comportă câmpul gravitațional când se răspândește căldura rămâne încă o problemă nerezolvată.

Știm ce se întâmplă cu un câmp electromagnetic încălzit: într-un cuptor, de pildă, există o radiație electromagnetică fierbinte care coace plăcinta, și pe care știm s-o descriem. Câmpul electromagnetic oscilează, împărțind în mod aleatoriu energia, și ne putem închipui că avem de-a face cu un gaz de fotoni care se mișcă la fel ca moleculele dintr-un balon cald. Ce înseamnă însă un câmp *gravitațional* cald?

Așa cum am văzut în lecția întâi, câmpul gravitațional e spațiul însuși – de fapt, spațiul-timp. Prin urmare, când căldura e răspândită în câmpul gravitațional, ar trebui ca spațiul și timpul să vibreze... Dar nu știm cum să descriem asta. Nu avem ecuațiile pentru a descrie vibrațiile termice ale unui spațiu-timp fierbinte. Ce înseamnă un timp care vibrează?

Asemenea întrebări ne conduc în miezul problemei timpului: ce înseamnă de fapt *curgerea* timpului?

Problema se punea deja în fizica clasică și a fost subliniată de filozofi în secolele XIX și XX, dar a devenit mult mai acută în fizica modernă. Fizica descrie lumea cu ajutorul formulelor care spun cum variază lucrurile în funcție de „timp”. Dar putem scrie formule care ne spun cum variază lucrurile în raport cu „poziția” lor, sau cum variază gustul unui *risotto* în funcție de „variabila cantitatea de unt”. Timpul pare să curgă, în vreme ce cantitatea de unt sau poziția în spațiu nu „curg”. De unde provine diferența asta?

Un alt fel de a pune problema e să te întrebi ce este „prezentul”. Spunem că lucrurile care există sunt cele din prezent: trecutul nu mai există, viitorul nu există încă. În fizică însă nu găsim nimic care să corespundă noțiunii de „acum”.

Comparați-l pe „acum“ cu „aici“. „Aici“ desemnează locul unde se află cel care vorbește: pentru doi oameni diferiți, „aici“ indică două locuri diferite. Prin urmare, „aici“ e un cuvânt a cărui semnificație depinde de locul unde e rostit. „Indicativ“ este termenul tehnic pentru acest gen de cuvinte. „Acum“ indică momentul în care cuvântul e rostit, este deci și el un „indicativ“, dar nimănui nu i-ar trece prin minte să spună că lucrurile de „aici“ există, iar lucrurile care nu sunt „aici“ nu există. Atunci, de ce spunem că lucrurile care sunt „acum“ există, iar toate celelalte nu există? Este oare prezentul ceva obiectiv în lume, ceva care „curge“ și face ca lucrurile să „existe“ unul după altul, sau e doar subiectiv, ca „aici“?

Întrebarea poate părea o complicație inutilă, dar în fizica modernă ea a devenit o problemă arzătoare de când relativitatea restrânsă ne-a arătat că și noțiunea de „prezent“ e subiectivă. Fizicienii și filozofii au ajuns la concluzia că ideea de prezent comun întregului univers e o iluzie, iar „curgerea“ universală a timpului este o generalizare care nu funcționează. Când a murit bunul său prieten italian Michele Bosso, Einstein i-a trimis surorii acestuia o scrisoare emoționantă: „Michele a părăsit această lume stranie cu puțin înaintea mea. Asta nu înseamnă nimic. Oamenii care, asemenea nouă, cred în fizică știu că distincția între trecut, prezent și viitor nu-i decât o persistentă iluzie încăpățânată.“

Iluzie sau nu, ce anume explică faptul că timpul „curge“ sau „trece“? Trecerea timpului e evidentă pentru noi toți: gândurile și vorbirea noastră există în timp; însăși structura limbajului face apel la timp – un lucru „este“, „a fost“ sau „va fi“. Ne putem închipui o lume fără culori, fără materie, chiar și fără spațiu, dar e greu să ne închipuim una fără timp. Filozoful german Martin Heidegger a subliniat ideea că noi „locuim în timp“. E posibil ca această curgere a timpului, pe care Heidegger o consideră primordială, să lipsească din descrierea lumii?

Unii filozofi, între care cei mai devotați heideggerieni, au tras concluzia că fizica nu poate descrie aspectele cu adevărat fundamentale ale realității, și au considerat-o o formă de cunoaștere care te duce pe căi greșite. S-a întâmplat însă de multe ori în trecut să ne dăm seama că imprecise sunt de fapt intuițiile noastre imediate: dacă ne-am fi cramponat de ele, am fi ajuns să credem și-n ziua de azi că Pământul e plat și că Soarele se învâрте în jurul lui. Intuițiile noastre s-au dezvoltat pe baza experienței noastre limitate. Când privim ceva mai departe, descoperim că lumea nu este așa cum ne apare nouă: Pământul e rotund, iar la Cape Town oamenii au picioarele în sus și capetele în jos. Nu-i o dovadă de înțelepciune să te încrezi în intuițiile imediate mai curând decât într-o examinare

colectivă rațională, atentă și pătrunzătoare – este îngâmfarea unui bătrân care refuză să creadă că lumea mare din afara satului în care își duce viața e diferită de cea pe care o știe dintotdeauna.

Oricât de viu am resimți senzația trecerii timpului, nu e neapărată nevoie ca ea să reflecte un aspect fundamental al realității. Dar dacă nu e fundamentală, cum se naște această senzație?

Un indiciu pentru răspuns cred că ne e oferit de strânsa legătură dintre timp și căldură. Apare o diferență detectabilă între trecut și viitor numai atunci când există un flux de căldură. Căldura e legată de probabilitate, iar probabilitatea, la rândul ei, e legată de faptul că interacțiile noastre cu restul lumii nu discern detaliile fine ale realității.

Curgerea timpului își are deci originea în fizică, dar nu în cadrul unei descrieri exacte a lucrurilor așa cum sunt ele, ci în contextul statisticii și al termodinamicii. Poate că aceasta e cheia pentru a descifra misterul timpului. „Prezentul“ nu există în mod obiectiv în măsură mai mare decât există obiectiv „aici“, dar interacțiile microscopice din lume fac să apară fenomene temporale într-un sistem (de pildă, noi înșine) care interacționează doar cu media a nenumărate variabile.

Memoria și conștiința noastră se întemeiază pe aceste fenomene statistice. Pentru o ipotetică vedere de o acuitate absolută, care ar percepe totul, n-ar exista timpul care „curge“: universul ar fi un unic bloc al prezentului, trecutului și viitorului. Dar limitările conștiinței noastre ne fac să vedem o imagine încețoșată a lumii și să trăim în timp. Pentru a-l cita pe editorul meu italian, „ceea ce nu e manifest e mult mai vast decât ceea ce e manifest“. Din această estompare a lumii se naște percepția noastră de curgere a timpului. Este limpede? Nu, nu e. Mai sunt foarte multe lucruri de înțeles.

Timpul se află în centrul nodului încâlcit de probleme care apar la intersecția gravitației, mecanicii cuantice și termodinamicii. Un nod în fața căruia stăm deocamdată neputincioși. Dacă există un lucru pe care începem poate să-l înțelegem despre gravitația cuantică, domeniul care combină două dintre cele trei piese de puzzle, nu avem încă o teorie capabilă să așeze împreună toate cele trei piese ale cunoașterii noastre fundamentale asupra lumii.

Un indiciu pentru a ataca problema vine de la un calcul efectuat de fizicianul englez Stephen Hawking, celebru pentru că a continuat să obțină rezultate remarcabile, în ciuda stării sănătății sale, care l-a obligat să rămână ținut într-un

cărucior cu roțile și îl împiedică să vorbească altfel decât prin mijloace electronice.

Folosind mecanica cuantică, Hawking a reușit să demonstreze că găurile negre sunt întotdeauna „fierbinți”. Ele emit căldură la fel ca o sobă. Este primul indiciu concret pentru ceea ce ar putea fi un spațiu cald. Deocamdată nimeni n-a observat această căldură, fiindcă e mult prea slabă în găurile negre pe care le-am detectat până acum pe cer – dar calculul lui Hawking e convingător și a fost refăcut pe diferite căi, iar căldura găurilor negre este în genere considerată un fapt real.

Căldura găurilor negre e un efect cuantic asupra unui obiect, gaura neagră, care este de natură gravitațională. Cuantele individuale de spațiu – grăunțele elementare de spațiu, „moleculele” aflate în vibrație – sunt cele care încălzesc suprafața găurii negre și generează căldura ei. Acest fenomen implică toate cele trei laturi ale problemei: mecanica cuantică, relativitatea generală și știința termică.⁹ Căldura găurilor negre este un fel de Piatra de la Rosetta a fizicii, scrisă într-o combinație de trei limbi – cuantică, gravitațională și termodinamică –, așteptând încă să fie descifrată pentru a dezvălui adevărata natură a timpului.

Note

⁹. Hawking a găsit o formulă pentru temperatura găurii negre, în care apar constanta lui Planck (fundamentală în mecanica cuantică), viteza luminii și constanta gravitațională (fundamentale în relativitatea restrânsă și în cea generală) și constanta lui Boltzmann (fundamentală în termodinamică). Frumusețea formulei stă în aceea că reunește constantele de bază ale unor domenii ale fizicii care până atunci nu fuseseră legate între ele. (Vezi, de pildă, Stephen Hawking, *Universul într-o coajă de nucă*, Editura Humanitas, București, 2004.) (N. t.)

În încheiere Noi înșine

După ce am străbătut un drum atât de lung, de la structura de profunzime a spațiului până la marginile cosmosului cunoscut, înainte de a ajunge la capătul acestei serii de lecții aș vrea să mă întorc la noi înșine.

Ce rol avem noi, ființe umane care percep, iau hotărâri, râd și plâng, în această mare frescă a lumii, așa cum e zugrăvită de fizica zilelor noastre? Dacă lumea e o colcăială a cuantelor efemere de spațiu și materie, un imens puzzle al spațiului și particulelor elementare, atunci ce suntem noi? Suntem și noi alcătuiți doar din cuante și particule? Dacă așa stau lucrurile, de unde provine acea senzație a existenței individuale și a sinelui unic pe care o trăiește fiecare dintre noi? Și ce sunt valorile noastre, visele noastre, emoțiile noastre, propria noastră cunoaștere? În această lume nemărginită și strălucitoare, ce suntem noi?

Nu-mi pot închipui nici măcar să încerc să răspund cu adevărat la o asemenea întrebare aici, în aceste pagini simple. E o sarcină copleșitoare. În marele tablou al științei contemporane rămân multe lucruri pe care nu le înțelegem, iar cel mai puțin ne înțelegem pe noi înșine. Cred însă că a evita această întrebare sau a o ignora ar însemna să trecem cu vederea ceva esențial. Mi-am propus să vă spun cum arată lumea în lumina științei, iar din lume facem parte și noi.

„Noi“, oamenii, suntem înainte de toate subiecții care observă această lume, autorii colectivi ai fotografiei realității pe care am încercat s-o compun eu aici. Suntem nodurile unei rețele de schimburi (iar cartea de față e un exemplu) prin care transmitem imagini, instrumente, informație și cunoaștere.

Dar suntem și parte integrantă a lumii pe care o percepem, nu suntem observatori externi. Ne aflăm înăuntrul ei. Perspectiva noastră asupra lumii vine chiar din mijlocul ei. Suntem alcătuiți din aceiași atomi și aceleași semnale luminoase ca pinii din munți și stelele din galaxii.

Pe măsură ce cunoașterea noastră a sporit, am aflat că suntem o parte din univers, și încă una infimă. De secole acest lucru devenea tot mai limpede, iar ultimul secol ne-a spulberat orice iluzie. Credeam că locuim pe o planetă din

centrul universului, ceea ce s-a dovedit a fi fals. Ne închipuiam că suntem o rasă aparte față de familia animalelor și plantelor, și am descoperit că descindem din aceiași părinți ca toate celelalte ființe din jurul nostru. Avem strămoși comuni cu fluturii și brazii. Suntem ca un fiu unic care, odată ce se maturizează, își dă seama că lumea nu se învâрте în jurul lui, așa cum își imagina în copilărie, și trebuie să accepte că e doar unul printre atâția alții. Oglindindu-ne în alții și în alte lucruri, am aflat cine suntem.

În epoca de glorie a idealismului german, Schelling credea că omenirea reprezintă apogeul naturii – punctul cel mai înalt, în care realitatea devine conștientă de ea însăși. Astăzi, din perspectiva dată de cunoștințele noastre despre lumea naturală, această idee ne face să zâmbim. Dacă suntem cumva aparte, suntem aparte doar așa cum fiecare se simte aparte, așa cum fiecare mamă e aparte pentru copilul ei. Fără îndoială însă nu și pentru restul naturii.

În imensul ocean de galaxii și stele, locuim într-un colț îndepărtat; înconjurați de infinite arabescuri de forme ce constituie realitatea, suntem doar o înfloritură printre nenumărate alte înflorituri.

Imaginile pe care ni le construim despre univers sălășluiesc în noi, în spațiul gândurilor noastre. Între aceste imagini – între ceea ce putem reconstrui și înțelege – și realitatea căreia îi aparținem există o mulțime de filtre: ignoranța noastră, limitările simțurilor și ale inteligenței noastre, înseși condițiile pe care natura noastră de subiecți, de subiecți particulari, le impune asupra experienței.

Aceste condiții nu sunt însă universale – așa cum credea Kant, care a dedus de aici (înșelându-se grav) că natura euclidiană a spațiului și chiar mecanica newtoniană trebuie să fie a priori adevărate. Ele sunt a posteriori în raport cu evoluția mentală a speciei noastre, și se află în permanentă evoluție. Nu numai că învățăm, dar învățăm și să ne modificăm treptat cadrul conceptual și să-l adaptăm la ce învățăm. Iar ceea ce învățăm să cunoaștem – încet și ezitant, ce-i drept – este natura lumii reale din care facem parte. Ce-i drept, imaginile pe care ni le facem despre univers sălășluiesc în noi, în spațiul gândurilor noastre, dar ele descriu cumva lumea reală căreia îi aparținem. Urmărim piste pentru a descrie mai bine această lume.

Când vorbim despre big bang sau despre textura spațiului, ceea ce facem nu e continuarea poveștilor gratuite și fantastice pe care oamenii le-au spus în vremuri străvechi, nopțile, strânși în jurul focului, ci e continuarea privirilor cu care, în zorii zilei, aceiași oameni căutau urmele lăsate de vreo antilopă în praful savanei – analizând detaliile realității pentru a deduce ceva ce nu putem vedea

direct, dar ale cărui urme ne pot călăuzi. Știm că ne putem mereu înșela, și suntem în orice moment gata să ne schimbăm direcția, dar știm de asemenea că, dacă suntem suficient de buni, ne vom descurca până la urmă și vom găsi ce căutăm. Asta e știința.

Confuzia dintre aceste două activități umane diferite – născocirea poveștilor și urmarea unei piste pentru a găsi ceva – e sursa neînțelegerii științei și a neîncrederii în ea dintr-o parte însemnată a culturii noastre contemporane. Distincția e subtilă: antilopa vânată în zori nu e departe de zeița-antilopă din poveștile care se spun noaptea, în jurul focului. Linia de demarcație nu-i strictă. Miturile hrănesc știința, iar știința hrănește miturile. Valoarea cognitivă a științei e însă certă: dacă nu găsim antilopa, nu putem mânca.

Cunoașterea noastră reflectă așadar lumea. O face mai bine sau mai rău, însă reflectă lumea în care trăim. Această comunicare între noi și lume nu e un element care să ne deosebească de restul naturii. Toate lucrurile interacționează permanent între ele, iar astfel starea fiecăruia poartă urmele stării celor cu care a interacționat. În acest sens, toate lucrurile schimbă continuu informații unele despre celelalte.

În informația pe care un sistem fizic o are despre un altul nu e nimic de ordin mental sau subiectiv – e doar o legătură pe care fizica o determină între starea a ceva și starea a altceva. Un strop de ploaie conține informația despre prezența unui nor pe cer; o rază de lumină conține informația despre culoarea substanței din care provine; un ceas deține informația despre momentul zilei; vântul transportă informația privind apropierea furtunii; un virus al răcelii deține informația despre vulnerabilitatea nasului meu; ADN-ul din celulele noastre conține întreaga informație despre codul genetic, care mă face să semăn cu tatăl meu; iar creierul meu e plin de informații acumulate din experiența mea. Materia primă a gândurilor noastre e un ansamblu extrem de bogat de informații, adunate, schimbate cu ceilalți și prelucrate continuu.

Dar până și termostatul sistemului meu de încălzire „simte“ și „știe“ temperatura din apartament, așa încât deține informații despre ea și se oprește când e suficient de cald. Care e atunci diferența dintre felul în care termostatul „simte“ și „știe“, și felul în care eu „simt“ și „știu“ că e cald, și hotărâsc în mod liber să închid sau nu încălzirea – precum și felul în care „știu“ că exist? Cum a putut schimbul permanent de informație din natură să ne producă pe noi, împreună cu gândurile noastre?

Problema rămâne deschisă, iar în prezent sunt discutate numeroase soluții

subtile. Aceasta, cred eu, este una dintre cele mai interesante frontiere ale științei, și e de așteptat ca aici să apară progrese importante. Noi instrumente ne permit acum să observăm activitatea creierului și să cartografiem rețelele lui complexe cu o precizie impresionantă. În 2014 s-a anunțat cartografierea completă a structurii cerebrale fine („mezoscopică”) a unui mamifer. Sunt acum în discuție idei concrete despre felul în care forma matematică a structurilor poate corespunde experienței subiective a conștiinței, iar discuțiile se poartă deopotrivă între filozofi și între specialiștii în neuroștiințe.

Printre cele mai interesante teorii, după părerea mea, este cea elaborată de Giulio Tononi, un strălucit om de știință italian care lucrează în Statele Unite. Ea se numește „teoria integrată a informației” (*integrated information theory*) și e o încercare de a caracteriza cantitativ structura pe care un sistem trebuie s-o aibă pentru a fi conștient: un mod, de pildă, de a descrie ce se întâmplă din punct de vedere fizic când trecem de la starea de veghe (conștientă) la cea de somn fără vise (inconștientă). Teoria se află deocamdată abia la început. Nu avem încă un răspuns ferm și convingător la întrebarea cum s-a format conștiința noastră, dar cred că ceața începe să se risipească.

Există în particular o problemă legată de noi care adesea ne lasă perplecși: ce înseamnă că suntem liberi să luăm hotărâri, din moment ce comportamentul nostru nu face altceva decât să urmeze legile predeterminate ale naturii? Nu cumva e o contradicție între senzația noastră de libertate și rigoarea cu care am înțeles că se desfășoară lucrurile în lume? Există oare în noi ceva care se sustrage regularității naturii și ne permite să ne răsucim și să ne abatem de la ea prin puterea libertății noastre de a gândi?¹⁰

Ei bine, nu, nu există nimic care să se sustragă normelor naturii. Dacă ceva din noi ar fi încălcat legile naturii, l-am fi descoperit deja. Întreaga știință modernă – de la fizică la chimie, și de la biologie la neuroștiințe – nu face decât să confirme această observație.

Rezolvarea contradicției vine din altă parte. Când spunem că suntem liberi, și e adevărat că putem fi, asta înseamnă că știm că ceea ce se întâmplă în noi, în creier, determină comportamentul nostru, iar nu factori externi. A fi liber nu înseamnă că altceva decât legile naturii determină comportamentul nostru, ci că el e determinat de legile naturii acționând în creierul nostru.

Hotărârile noastre libere sunt liber determinate de rezultatele complexelor interacții instantanee dintre miliardele de neuroni din creier: ele sunt libere în măsura în care e liberă și interacția acestor neuroni care le determină. Înseamnă

oare asta că, atunci când iau o hotărâre, „eu“ sunt cel care hotărăște? Da, sigur, fiindcă ar fi absurd să mă întreb dacă „eu“ pot face altceva decât a hotărâți întregul ansamblu al neuronilor mei. Cele două sunt unul și același lucru – după cum a înțeles cu o minunată luciditate în secolul XVII filozoful olandez Baruch Spinoza. Nu există un „eu“ și „neuronii din creierul meu“. Ele sunt unul și același lucru. Un individ e un proces complex, dar strâns integrat.

Când spunem despre comportamentul uman că e impredictibil, avem dreptate, fiindcă e prea complex pentru a fi prezis, și mai cu seamă de noi înșine. Senzația intensă de libertate interioară, așa cum a observat cu acuitate Spinoza, provine din faptul că ideile și imaginile pe care ni le-am format despre noi înșine sunt mult mai groșiere și mai vagi decât complexitatea detaliată a ceea ce se petrece în noi. Suntem sursa uimirii care ne cuprinde.

În creierele noastre sunt o sută de miliarde de neuroni, la fel de mulți ca stelele dintr-o galaxie, iar numărul legăturilor și combinațiilor în care ei se pot găsi este încă și mai amețitor. Nu suntem conștienți de toate astea. „Noi“ suntem procesul format de această complexitate, iar nu puținul de care suntem conștienți.

Acel „eu“ care ia decizii este același cu „eul“ format (pe o cale nelămurită încă în totalitate, dar care începe să se întrevadă) prin reflectarea sa în oglindă, reprezentându-se pe sine în lume, înțelegându-se pe sine ca un punct de vedere variabil plasat în lume – prin acea structură impresionantă ce procesează informațiile și construiește reprezentări care e creierul nostru.

Când avem senzația că „eu sunt“ acela care hotărăște, e cum nu se poate mai corect. Cine altcineva? Eu sunt, așa cum susținea Spinoza, trupul meu și toate câte se întâmplă în creierul meu, în inima mea, cu imensa și, pentru mine, inextricabilă lor complexitate.

Imaginea științifică a lumii, pe care am redat-o în aceste pagini, nu intră așadar în contradicție cu percepția noastră de sine. Nu intră în contradicție cu gândirea noastră în termeni morali și psihologici, sau cu emoțiile și sentimentele noastre. Lumea e complexă, iar noi o surprindem folosind limbaje diferite, potrivit proceselor pe care le descriu. Fiecare proces complex poate fi abordat și înțeles în diferite limbaje și la diferite niveluri. Aceste limbaje se intersectează, se împletesc și se îmbogățesc reciproc, la fel ca procesele însele. Studiul psihologiei noastre devine mai subtil odată cu înțelegerea biochimiei creierului. Studiul fizicii teoretice se hrănește din pasiunile și emoțiile care ne însuflețesc viața.

Valorile morale, emoțiile, iubirile noastre nu sunt mai puțin reale prin faptul că

fac parte din natură, că sunt împărtășite cu lumea animală sau că sunt determinate de evoluția pe care a cunoscut-o specia noastră vreme de milioane de ani. Ele sunt cu atât mai prețioase, pentru că sunt reale. Ele sunt realitatea complexă din care suntem alcătuiți. Realitatea noastră sunt lacrimile și râsul, recunoștința și altruismul, loialitatea și trădarea, trecutul care ne bântuie și seninătatea. Realitatea noastră e alcătuită din societățile noastre, din emoția pe care ne-o inspiră muzica, din bogatele rețele interconectate ale cunoașterii noastre comune pe care le-am construit împreună. Toate acestea fac parte din aceeași „natură“ pe care o descriem. Suntem parte integrantă a naturii, suntem natură, într-una din nenumăratele și infinit de variatele expresii ale ei.

Specificitatea umană nu e dată de separarea de natură, ci de faptul că-i aparținem. Este o formă pe care natura a luat-o aici, pe planeta noastră, în nesfârșitul joc al combinațiilor ei, prin influențele reciproce și schimburile de corelații și informații dintre părțile ei. Cine știe câte alte complexități extraordinare există, în forme pesemne imposibil de închipuit pentru noi, în întinderile vaste ale cosmosului... Este atât de mult spațiu acolo, încât ar fi o copilărie să credem că într-un colț îndepărtat dintr-o galaxie ca oricare alta s-ar întâmpla ceva ieșit din comun. Viața de pe Pământ ne dă doar o idee vagă despre ce se poate petrece în univers. Însuși sufletul nostru e doar un mic exemplu.

Suntem o specie iscoditoare, singura rămasă dintr-un grup de specii (genul *Homo*) alcătuit din vreo duzină de specii nu mai puțin iscoditoare. Celelalte din grup au dispărut deja; unele, precum neanderthalienii, destul de recent, cam cu treizeci de mii de ani în urmă. Este un grup de specii care au evoluat în Africa, rude cu cimpanzeii organizați ierarhic și certăreți, și rude încă mai apropiate cu bonobii, acei cimpanzei mici, pașnici, veseli, egalitari și promiscui. Un grup de specii care au părăsit în repetate rânduri Africa pentru a explora noi lumi, și au ajuns departe: au ajuns în cele din urmă în Patagonia – iar apoi pe Lună. Nu e împotriva naturii să fim iscoditori, e în firea noastră să fim așa.

Acum o sută de mii de ani specia noastră a părăsit Africa, împinsă pesemne tocmai de această curiozitate și învățând să privească mereu mai departe. Zburând noaptea deasupra Africii, m-am întrebat dacă vreunul dintre acești strămoși îndepărtați, pornind spre spațiile vaste ale nordului, și-a ridicat privirea spre cer și și-a închipuit un urmaș îndepărtat zburând acolo, cugetând la natura lucrurilor și mânat de aceeași curiozitate.

Cred că specia noastră nu va supraviețui mult. Nu părem să fim făcuți din aceeași stofă cu broaștele țestoase, de pildă, care au continuat să existe aproape

neschimbate sute de milioane de ani – de sute de ori mai mult decât timpul scurs de la apariția noastră. Aparținem unui gen de specii cu durată de viață scurtă. Toți verii noștri apropiați au murit deja. În plus, provocăm pagube. Este puțin probabil să fim cruțați de brutalele schimbări ale mediului și climei declanșate de noi. Pentru Pământ, ele ar putea fi doar ca o pișcătură de țânțar, dar nu cred că noi vom scăpa nevătămați – mai cu seamă că opinia publică și cea politică preferă să ignore pericolele prin care trecem, vârându-și capul în nisip. Suntem probabil singura specie de pe Pământ care e conștientă de inevitabilul nostru sfârșit individual. Mi-e teamă că vom deveni în curând și singura specie care va asista în cunoștință de cauză la propria ei dispariție colectivă, sau cel puțin la dispariția civilizației ei.

Așa cum știm să înfruntăm, de bine, de rău, moartea noastră individuală, vom înfrunta și prăbușirea colectivă a civilizației noastre. Nu sunt lucruri chiar atât de diferite. Și nu e prima civilizație care se prăbușește. Cretanii și mayașii au trecut deja prin asta. Ne naștem și murim așa cum stelele se nasc și mor, atât individual, cât și colectiv. Și, după cum scria Lucrețiu, „în veci ne arde setea de viață“ (*De rerum natura*, III, 1084).¹¹ Scufundați însă în natura care ne-a făurit și care ne conduce, nu suntem ființe fără adăpost suspendate între două lumi, ținând doar în parte de natură și tânjind după altceva. Nu, suntem la noi acasă.

Natura e casa noastră, iar în natură suntem acasă. Această lume stranie, multicoloră și uimitoare pe care o explorăm – unde spațiul e granular, timpul nu există și obiectele nu se află nicăieri – nu ne îndepărtează de noi înșine, căci asta e tocmai ceea ce curiozitatea noastră naturală ne dezvăluie despre casa noastră. Despre materia din care suntem făcuți. Suntem făcuți din același praf de stele din care sunt făcute toate lucrurile, iar când cădem pradă suferinței sau când suntem pe culmile bucuriei, nu facem decât să fim ceea ce suntem în mod inevitabil: o parte a lumii noastre.

Lucrețiu o spune în cuvinte minunate:

Noi, în sfârșit, ne tragem din sămânță
Cerească: ceru-i tatăl tuturor.
Și când țărâna, maica noastră spornică,
Din cer primește picurii de ploaie,
Atunci ea naște grânele-aurite
Și pomii roditori, ea naște gintul
Cel omenesc și fiarele sălbatice.
Tot ea le-mbie tuturor și hrana

Cu care se hrănesc, își duc viața
Și neamul și-l împurură.

Ține de natura noastră să iubim și să fim cinstiți. Ține de natura noastră să vrem să știm mai multe și să continuăm să învățăm. Cunoașterea lumii va spori mai departe. Există frontiere unde învățăm, iar dorința noastră de cunoaștere e arzătoare. Ele se află în profunzimile texturii spațiului, la originile cosmosului, în natura timpului, în fenomenul găurilor negre și în funcționarea propriei noastre gândiri. Aici, la capătul a ceea ce cunoaștem, în contact cu oceanul necunoscutului, strălucesc misterul și frumusețea lumii. Și e impresionant.

Note

[10](#). Aceasta e tema centrală a cărții lui Daniel M. Wegner *Iluzia voinței conștiente* (Editura Humanitas, București, 2013). (N. t.)

[11](#). Traducerile citatului și ale versurilor care urmează sunt preluate din Lucrețiu, *Poemul naturii* (Editura Științifică, București, 1965). (N. t.)