

Carlo Rovelli este un fizician teoretician cu importante contribuții în fizica spațiului și timpului. A lucrat în Italia și Statele Unite, iar în prezent conduce grupul de cercetări privind gravitația cuantică de la Centrul de Fizică Teoretică din Marsilia. Cărțile sale *Șapte scurte lecții de fizică* (2014; Humanitas, 2016), *Realitatea nu e ceea ce pare: Structura fundamentală a lucrurilor* (2014; Humanitas, 2019), *Ordinea timpului* (2014; Humanitas, 2019) și *Helgoland: Cum să înțelegem teoria cuantică* (2020; Humanitas, 2021) s-au bucurat de un mare succes internațional, fiind traduse în peste patruzeci de limbi.

Cuprins

Prefață la ediția a doua	7
Prolog	11
1. O problemă extraordinară: gravitația cuantică	17
2. Spațiu, particule și câmpuri.....	23
3. Nașterea teoriei buclelor.....	39
4. Interludiu: știința sau explorarea permanentă a unor noi moduri de a concepe lumea	53
5. Buclele: grăunțe de spațiu, rețele de spin, cosmologie primordială și căldura găurilor negre	73
6. Timpul nu există	93
7. Bucle, corzi și altele.....	119
Epilog	135
Mulțumiri.....	143

Prefață la ediția a doua

Carlo Rovelli e fizician teoretician și se numără printre inițiatorii teoriei gravitației cuantice cu bucle, subiect de o înspăimântătoare dificultate matematică. Cu toate acestea, când l-am întâlnit și l-am ascultat cu ocazia unei reuniuni interdisciplinare, s-a arătat în stare să vorbească despre munca lui atât de limpede, încât un adolescent de cincisprezece ani l-ar fi putut urmări până la capăt; vorbea atât de pasionant, încât tânărul ascultător ar fi vrut să afle cum să devină, la rândul lui, fizician.

Carlo Rovelli folosește tehnica matematică cea mai înaltă, dar nu cedează niciodată plăcerii artificiei în sine. Nu scapă din ochi problemele pe care vrea să le rezolve. Conștiința aceasta a mizelor face farmecul scrierilor și conferințelor lui de popularizare. Schematic, clar, el schițează tabloul fizicii fundamentale pentru a-i pune în lumină crăpăturile – problemele deschise care-i absorb pe fizicienii de azi.

Apoi, dincolo de fizică, chestionează știința în ansamblul ei, raporturile sale cu celelalte domenii ale cunoașterii și rolul ei în societate. Fizicianul nu este, nu poate fi un tehnician deconectat de la realitate, din moment ce tocmai despre realitate pretinde că vorbește. Lumea pe care o cercetează

în acceleratorul de particule și lumea în care se trezește în fiecare dimineață sunt una. Mai bine decât oricare alt om de știință, Carlo Rovelli ne face să simțim această conexiune dintre activitatea cercetătorului și zumzetul lumii.

Editorul italian Sante Di Renzo a avut clarviziunea să-l roage pe Carlo Rovelli să conceapă un text destinat tinerilor curioși să îmbrățișeze cariera științifică. Mai multe convorbiri cu fizicianul au dus la cartea *Che cos'è il tempo? Che cos'è lo spazio?* (*Ce e timpul? Ce e spațiul?*).

Când am avut și eu ideea să-l public, după ce l-am ascultat la o conferință, Carlo Rovelli mi-a propus să revadă textul acesta, îmbogățindu-l și în partea de conținut științific, și în cea de reflecție asupra științei. Avem deci aici un text mai țintit și mai larg în același timp, un adevărat „con de gânduri“. Aflăm din el încotro se îndreaptă fizica de mâine și de ce se reîntâlnește cu Aristotel, ce este un „grăunte“ de spațiu-timp și cum anume studiul unor asemenea probleme poate juca un rol important pe drumul civilizației.

Mai mult decât o lucrare științifică, avem în față o demonstrație de spirit științific, această atitudine care, deși atât de firească la copii, e atât de greu de păstrat.

Élisa Brune

Pentru Élisa Brune

Prolog

Am dedicat cercetării științifice o mare parte din viață, dar, pentru mine, știința a fost o pasiune târzie. Când eram tânăr, lumea întreagă mă fascina mai mult decât știința.

Am crescut la Verona, într-o familie lipsită de griji. Tata, un om de o inteligență rară, discret și rezervat, era inginer și-și conducea propria întreprindere. Mi-a transmis plăcerea de a privi lumea cu curiozitate. Mama, o italiancă adevărată, deborda de iubire pentru fiul unic, mă ajuta în „cercetările“ pe care le efectueam pentru școala primară și-mi hrănea pofta de a descoperi.

Am urmat liceul clasic la Verona; studiam mai mult greacă și istorie decât matematică. Era o instituție bogată în stimuli culturali, dar pretențioasă și provincială, concentrată asupra misiunii sale de a proteja privilegiile și identitatea burgheziei locale. Unii dintre profesori fuseseră fasciști înainte de război și fasciști rămăseseră în tainițele sufletului lor. Erau anii șaizeci și șaptezeci, iar conflictul dintre generații făcea ravagii. Lumea se schimba rapid. Cei mai mulți adulți din jurul meu acceptau greu evoluția; rigizi, adoptau poziții defensive și sterile. Nu aveam aproape deloc încredere în ei, cu atât mai puțin în profesori. Intram

întruna în conflict cu ei și cu orice figură care reprezenta autoritatea.

Adolescența mi-a fost câmp de revoltă. Nu mă recunoșteam în valorile exprimate în jurul meu, evoluam în deplină confuzie, fără nici o certitudine. Un singur lucru mi-era clar: lumea pe care o vedeam era diferită de cea care mi s-ar fi părut a fi dreaptă și frumoasă. Visam să devin *homeless** și să părăsesc această realitate care nu-mi plăcea. Citeam avid cărți care-mi vorbeau despre alte moduri de a-ți trăi viața și despre idei diferite. Credeam că fiecare carte încă necitită ascunde comori minunate.

În timpul studiilor universitare, la Bologna, conflictul meu cu lumea adultă s-a alăturat parcursului unei mari părți a generației din care fac parte. Voiam să schimbăm lumea, s-o facem mai bună, mai puțin nedreaptă; să găsim forme noi de a trăi și de a iubi; să experimentăm noi forme comunitare; să încercăm totul. Ne îndrăgosteam fără încetare și discutam la infinit. Voiam să învățăm să vedem lucrurile fără nici un *a priori*. Aveam momente de deznădejde, dar și momente în care ni se părea că întrezărim zorii lumii noi.

Era o vreme când se trăia din visuri. Călătoream mult: în mintea noastră și pe drum, căutând prieteni și idei. La douăzeci de ani, am plecat într-o lungă călătorie solitară în jurul lumii. Îmi doream aventuri, voiam să „caut adevărul“. Azi, la cincizeci de ani, naivitatea asta mă face să surâd, dar cred în continuare că era o alegere bună și că, într-un fel, încă îmi continui aventura începută atunci. Drumul n-a fost întotdeauna ușor, dar speranțele nechibzuite și visurile de nimic oprite nu m-au părăsit; trebuie doar să ai curajul să ți le urmezi.

* SDF, în original, adică „Sans Domicile Fixe“, fără domiciliu stabil (n. tr.).

Împreună cu un grup de prieteni, am pus pe roate unul dintre primele posturi de radio libere din epocă, *radio Alice*, la Bologna. Microfonul era acolo pentru oricine voia să se exprime pe calea undelor. *Radio Alice* combina experiențe și utopii. Împreună cu cei doi prieteni, am scris o carte care povestește revolta studentească italiană de la sfârșitul anilor șaptezeci. Dar speranțele revoluției au fost repede înăbușite și ordinea a fost restabilită. Lumea nu se schimbă ușor.

Pe la jumătatea studiilor universitare, m-am simțit mai pierdut decât înainte, cu senzația amară că visurile împărtășite de jumătate de planetă sunt deja pe cale să se evapore. Habar n-aveam ce să fac cu viața mea. Să mă alătur cursei de avansare pe scara socială, să fac carieră, să câștig bani și să ciugulesc firimituri de putere, așa ceva ar fi fost prea trist. Dar rămânea o lume de explorat și continuam să-mi imaginez că în spatele norilor se află un orizont nemărginit.

Mi-a ieși atunci în cale cercetarea științifică – am descoperit acolo un spațiu nesfârșit de libertate, o aventură pe cât de extraordinară, pe atât de veche. Până atunci, studiam ca să trec examenele și, mai ales, ca să amân serviciul militar obligatoriu; curând însă, materiile studiate au început să mă intereseze, apoi să mă pasioneze.

În anul al treilea al programului de fizică apare fizica „nouă”, cea din secolul XX: mecanica cuantică și teoria relativității lui Einstein. Sunt idei fascinante, revoluții conceptuale extraordinare care ne transformă felul cum concepem lumea și bulversează vechile idei, chiar și pe acelea considerate foarte solide. Datorită lor, descoperim că lumea nu corespunde aparențelor. Învățăm să privim lucrurile cu alți ochi. E o formidabilă călătorie a gândului. Așa se face că am alunecat de la o revoluție culturală avortată înspre o revoluție a ideilor în curs.

Odată cu știința, am descoperit un fel de a gândi care începe prin stabilirea unor reguli cu care să înțelegem lumea, fiind apoi capabil să modifice chiar și aceste reguli. Mă fascina această libertate în căutarea cunoașterii. Împins de curiozitate și, poate, de ceea ce Federico Cesi, prietenul lui Galilei și vizionar al științei moderne, numea „dorința firească de a ști“, m-am trezit, aproape fără să-mi dau seama, adâncit în probleme de fizică teoretică.

Interesul meu pentru această disciplină s-a născut deci mai degrabă din întâmplare decât în urma unei alegeri conștiente. În liceu, fusesem bun la matematică, dar mă atrăgea mai ales filozofia. Dacă am ales să studiez la universitate fizica, și nu filozofia, a fost numai pentru că, în disprețul meu față de instituții, consideram problemele filozofice prea importante pentru a fi discutate la școală...

Astfel, în momentul în care visul meu de a construi o lume nouă s-a izbit de realitate, m-am îndrăgostit de știință, aceasta conținând lumi noi în număr infinit, toate încă de descoperit, și care îmi oferea posibilitatea de a urma un drum liber și luminos pentru a explora tot ce ne înconjoară. Pentru mine, știința a fost un compromis care-mi permitea să nu renunț la dorința de schimbare și de aventură, să-mi păstrez libertatea de gândire, îmi permitea să fiu cine sunt, minimizând în același timp conflictele mele cu mediul. În plus, participam la o întreprindere pe care lumea o aprecia.

Mi se pare că din manevra aceasta se trage mare parte a demersurilor intelectuale sau artistice. Ele oferă un fel de refugiu potențialilor devianți. În același timp, societatea are nevoie de acest tip de persoane, pentru că trăiește într-o stare de echilibru dinamic: pe de o parte, există forțe care-i asigură stabilitatea și dăinuirea, împiedicând dezordinea să distrugă ce a fost deja construit; pe de altă parte, dorința

de schimbare și de justiție tinde s-o modifice, s-o împingă către progres și evoluție. Fără această dorință de schimbare, civilizația n-ar fi atins niciodată punctul în care se află; am continua să-i slăvim pe faraoni.

Cred că setea de schimbare și curiozitatea tinereții, prezente la fiecare generație, sunt izvorul prim al evoluției societății. Alături de figurile emblematice ale ordinii, care mențin stabilitatea, dar frânează istoria, e nevoie de oameni care se hrănesc cu visuri și se avântă în descoperirea de noi teritorii, de idei originale, de moduri neașteptate de a privi și de a înțelege realitatea. Lumea de azi a fost gândită și construită de cei care, odinioară, au fost în stare să viseze. Doar alte visuri noi pot zămisli viitorul.

Cartea aceasta prezintă câteva etape ale drumului parcurs urmându-mi curiozitatea și visurile. Vorbește despre fascinația pentru idei și despre prietenii pe care i-am întâlnit.

1

O PROBLEMĂ EXTRAORDINARĂ: GRAVITAȚIA CUANTICĂ

În timpul celui de-al patrulea an la universitate, am dat peste un articol al unui fizician englez, Chris Isham, despre *gravitația cuantică*. În articol se spunea că la baza fizicii contemporane se află o problemă nerezolvată, legată de definiția timpului și a spațiului, adică de structura de bază a lumii. Am citit avid articolul. N-am priceput mare lucru din el, dar problema pusă m-a fermecat. Iat-o, în liniile ei mari.

STAREA DEPLORABILĂ A FIZICII FUNDAMENTALE

Marea revoluție științifică din secolul XX se compune din două evenimente majore. Avem, pe de o parte, *mecanica cuantică* și, pe de altă parte, *relativitatea generală* a lui Einstein. Mecanica cuantică, care descrie foarte bine lumea microscopică, a bulversat profund tot ce știm despre materie. Relativitatea generală, care explică precis forța de gravitație, a transformat radical ceea ce știm despre Timp și Spațiu. Ambele teorii au fost confirmate în foarte mare măsură de experiență și au permis dezvoltarea unei mari părți a tehnologiei contemporane.

Dar aceste teorii descriu lumea în două modalități foarte diferite, incompatibile la o primă privire. Fiecare dintre ele pare scrisă ca și cum cealaltă nici n-ar exista. Ce explică la clasă un profesor de relativitate pare un nonsens pentru colegul care predă mecanică cuantică aceluiași student în amfiteatrul de-alături și viceversa. Mecanica cuantică folosește vechile noțiuni de timp și spațiu, contrazise de teoria relativității generale. Iar relativitatea generală folosește vechile noțiuni de materie și de energie, contrazise de mecanica cuantică.

Nu există nici o situație fizică la care să se aplice simultan cele două teorii. În funcție de scara fenomenelor, aplicăm ori una, ori alta. Iar situațiile fizice în care se aplică cele două teorii, ca distanțele foarte mici, centrul unei găuri negre sau primele momente din viața universului, implică nivele de energie greu accesibile instrumentelor noastre.

Nu știm cum să articulăm aceste două mari descoperiri; nu dispunem de un cadru global în care să concepem lumea. Suntem în plină schizofrenie, cu explicații fărâmițate și incompatibile între ele. Cu efectul că, în realitate, nu mai știm ce sunt Spațiul, Timpul și Materia. Fizica fundamentală de azi e într-o stare deplorabilă.

Au mai fost asemenea situații de-a lungul timpului, de exemplu înainte de opera unificatoare a lui Newton. Pentru Kepler, care observa planetele și stelele, corpurile descriau elipse. Pentru Galilei, care observa obiectele în cădere, ele urmau parabole. Dar Copernic înțelesese că Pământul e un loc ca oricare altul din Univers, fără nimic deosebit. Așadar, cum putea exista o teorie care să funcționeze pe Pământ și o alta în cer? Newton a reușit să împacă cele două teorii într-una singură: aceeași ecuație se aplică și planetelor, și merelor care cad pe Pământ.