

M. SUHAIL ZUBAIRY

UN UNIVERS MISTERIOS

MECANICĂ CUANTICĂ, RELATIVITATE
ȘI COSMOLOGIE PENTRU TOȚI

Traducere din engleză
de Walter Fotescu

HUMANITAS

CUPRINS

<i>Cuvânt înainte</i> de David M. Lee	9
<i>Prefață</i>	11
1. Introducere	15
 PARTEA I. ISTORIC	
2. Mecanica newtoniană și lumea deterministă	21
3. Nașterea mecanicii cuantice	29
4. Ce este lumina?	46
5. Cum arată un atom?	65
 PARTEA A II-A. MISTERELE MECANICII CUANTICE	
6. Un singur foton – un sistem cuantic uimitor	87
7. Dumnezeu joacă zaruri?	106
8. O lume incertă!	117
9. Vidul nu este „nimic“	130
10. Dualitatea undă-particulă	141
11. Pisica lui Schrödinger și corelarea cuantică	172
12. Este realitatea cu adevărat reală?	192
13. Un singur univers, sau universuri multiple?	210
 PARTEA A III-A. RELATIVITATE ȘI COSMOLOGIE	
14. Obiecte cosmice	227
15. Teoria relativității speciale a lui Einstein	238

16. Teoria relativității generale	266
17. Găuri negre	294
18. Big bang – nașterea universului.	308
19. Materia întunecată și energia întunecată	337

PARTEA A IV-A. EPILOG

20. Vise despre viitor.	351
<i>Bibliografie</i>	359

PREFAȚĂ

Timp de mii de ani, încă din zorii civilizației, universul li s-a părut foarte misterios oamenilor. Atât de multe fenomene păreau supranaturale și de neînțeles. Apoi, în secolul XVI, a început revoluția științifică modernă. Vălul a început să se ridice de pe toate misterele și, treptat, legile naturii au ieșit la iveală. La sfârșitul secolului XIX a început să se contureze ideea că toate legile naturii erau înțelese și că, în principiu, ele ar putea explica tot ce se întâmplă nu numai pe Pământ, ci și în cosmos.

Scurt timp după aceea, la începutul secolului XX, două revoluții au dus la înțelegerea faptului că universul e condus potrivit unor legi fundamentale diferite de cele formulate în secolele XVII, XVIII și XIX prin lucrările lui Galilei, Newton, Young, Maxwell și alții. Aceste revoluții, mecanica cuantică și teoria relativității, care s-au dezvoltat cam în același timp, nu numai că au răsturnat acele legi, dar ne-au schimbat concepția despre univers. Nu mai este considerat determinist, particulele și undele nu mai sunt trăsături incompatibile ale obiectelor din jur, universul a avut un început, realitatea nu mai e obiectivă, iar spațiul și timpul sunt curbate. Acestea sunt doar câteva din implicațiile noilor legi ale naturii.

Este o ironie faptul că universul, care era considerat foarte bine înțeles și în acord cu simțul nostru comun, a devenit mai misterios ca niciodată. Adevărul nu mai este ceea ce percepem, ci e mult mai profund și uneori incomprehensibil.

Mecanica cuantică și relativitatea sunt subiecte extrem de matematizate și greu accesibile. În 2020 am scris o carte intitulată *Quantum mechanics for Beginners (Mecanica cuantică pentru începători* – Oxford University Press, 2020) cu scopul de a prezenta ideile fundamentale ale mecanicii cuantice cuiva având doar cunoștințe elementare de fizică și algebră. Aici fac un pas mai departe și prezint aceste idei cuiva fără cunoștințe prealabile de fizică și matematică.

Scopul cărții de față e să prezinte legile fundamentale ale mecanicii cuantice, relativității și cosmologiei unui nespecialist într-un limbaj cât mai simplu cu putință. Vreau să-i arăt cititorului cât de straniu și de misterios e universul. Spațiul, timpul, materia și realitatea nu sunt ce par a fi. Oricine e curios să cunoască bazele mecanicii cuantice și teoriei relativității, precum și consecințele lor, va avea de câștigat citind această carte.

Cartea se adresează cititorilor, tineri și vârstnici, dornici să înțeleagă enigmaticele legi care guvernează universul, fără să posede o pregătire prealabilă în fizică și matematică. Cartea poate fi utilă și celor care au cunoștințe de fizică și vor să afle câte ceva despre fundamentele fizicii, chestiuni rareori discutate în cursurile obișnuite de fizică.

În prima parte sunt prezentate subiecte precum dualitatea undă-particulă, natura probabilistică a măsurării, posibilitatea universurilor multiple și natura realității. În partea a doua sunt prezentate teoriile relativității speciale și generale ale lui Einstein și consecințele lor uimitoare. Impactul teoriei relativității asupra cosmologiei e imens. Sunt explicate și discutate modelul big bang al universului, găurile negre și subiectele fierbinți actuale ale materiei întunecate și energiei întunecate. Aceste domenii, care ar putea deține cheia multor întrebări deocamdată fără răspuns despre univers, sunt în plină evoluție.

Există câteva persoane cărora trebuie să le mulțumesc pentru contribuțiile lor la ducerea la bun sfârșit a acestei cărți. Recunoștința mea cea mai profundă se îndreaptă către Marlan Scully, care a rămas o sursă de inspirație de-a lungul întregii mele vieți profesionale.

Cartea de față îi este dedicată lui fiindcă e un prieten de nădejde de peste 40 de ani.

În timpul pregătirii cărții am beneficiat de aportul multor colegi și prieteni. Le sunt recunoscător în mod deosebit lui Bob Brick, Wenchao Ge, Yusef Maleki, Khalid Sohail și Alexei Sokolov pentru citirea unor părți din manuscris și pentru sugestiile lor utile. Datorez mulțumiri speciale lui Sonke Adlung și Manhar Ghatora la OUP, lui Karthiga Ramu la Integra și lui Julian Thomas (redactor de carte) pentru ajutorul lor în publicarea acestei cărți.

Iubirea și afecțiunea primite de la membrii familiei mele, Sarah, Neo, Sahar, Shani, Raheel și Reema, au fost întotdeauna o sursă puternică de susținere. Anii mei din urmă au fost luminați de cele mai adorabile persoane din viața mea: Zoya, Aliya, Qasim, Sameer, Khalid și Nisa. Persoana ale cărei sprijin și încurajări au rămas cea mai mare sursă de putere este cel mai bun prieten și soția mea, Parveen.

M. SUHAIL ZUBAIRY
College Station, Texas
12 ianuarie 2023

1. INTRODUCERE

Universul nu doar că este mai straniu decât ne imaginăm, el este mai straniu decât ne putem imagina.

— Werner Heisenberg

Încă din zorii civilizației, oamenii au reflectat asupra universului din jurul lor. Și-au pus întrebări despre mișcarea obiectelor cosmice precum Soarele, Luna, planetele și stelele. Au încercat să explice natura și constituenții obiectelor din jurul lor. Au încercat să înțeleagă cum putem vedea și percepe lucrurile.

Progresul către înțelegerea legilor fundamentale ale naturii a fost lent și greoi. De pildă, a fost nevoie de aproape 2000 de ani pentru a demitiza ideea aristotelică potrivit căreia toate obiectele sunt alcătuite din patru elemente – pământ, foc, aer și apă – și a înțelege faptul că ele sunt alcătuite din minuscule obiecte indivizibile numite atomi; a fost nevoie de aproape 1000 de ani pentru a înțelege că văzul nu se datorează emiterii de către ochi a unor raze de lumină care lovesc obiectele și ne permit să percepem lucruri precum culoare, formă și mărime, ci luminii împrăștiată de obiecte în ochi; și a fost nevoie de circa 1500 de ani pentru trecerea de la modelul geocentric al sistemului planetar (în care totul, inclusiv Soarele, Luna, planetele și stelele, se rotește în jurul Pământului) la modelul heliocentric (în care Soarele se află în centru, iar planetele, inclusiv Pământul, se rotesc în jurul său).

De-a lungul mileniilor, unele fenomene comune, precum tunetele și fulgerele de pe cer și eclipsele solare când pe pământ se face întuneric în timpul zilei, au părut misterioase și au dat naștere la o sumedenie de mituri și ritualuri. Vălul de mister a început să se ridice odată cu apariția științei și gândirii științifice. Era

modernă a științei, care a început în secolul XVI, a adus în prim-plan gândirea rațională și a condus la credința că orice fenomen din lumea aceasta și din cosmos trebuie să aibă o explicație rațională și științifică.

La sfârșitul secolului XIX, universul părea să fie complet înțeles din punct de vedere științific. Principalele concluzii erau:

- Trăim într-un univers tridimensional infinit, care a existat dintotdeauna.
- Timpul e complet independent de spațiu și curge uniform dinspre trecut către prezent, iar apoi către viitor.
- Toate obiectele din universul acesta se supun unor legi complet deterministe. Dacă aplicăm o forță, orice tip de forță, putem prezice rezultatul cu mare precizie.
- Lumina este o undă, iar o minge este o particulă – în privința asta nu încapă nici o îndoială. Lumina nu se poate comporta ca o particulă, iar o minge nu se poate comporta ca o undă.
- Nu există nici o limită pentru cât de repede ne putem mișca. E doar o problemă de a construi mașini și dispozitive adecvate care ne vor duce departe, foarte departe, cu viteze oricât de mari.
- Toată materia din univers e alcătuită din cele mai mici particule, numite atomi. Atomii sunt asemenea unor mici sfere solide, iar toate obiectele sunt formate stivuiind acești atomi unul peste altul.
- Vidul absolut este acolo unde nu există nici o mișcare și nu e prezentă nici o energie.
- Toate obiectele pe care le vedem în jurul nostru sunt reale – ele continuă să existe chiar și atunci când nu le privim.
- Există un singur univers, cel pe care-l vedem în jurul nostru. E imposibil să existe alte universuri, în care noi să existăm în stări diferite (dacă aici zâmbim, într-un alt univers am putea fi triști).

După mai bine de un secol, percepția noastră despre univers rămâne aceeași. Toate aceste concluzii rămân înrădăcinate în noi și orice abatere de la ele ni s-ar părea o surpriză completă, chiar șocantă.

Faptul uimitor este că nici una dintre aceste concluzii la care s-a ajuns prin cercetări științifice desfășurate de-a lungul a trei veacuri, până la finele secolului XIX, nu este corectă conform legilor fizicii așa cum le înțelegem în prezent. Toate aceste adevăruri de la sine înțelese au fost zdruncinate și răsturnate ca urmare a unei revoluții științifice care a avut loc în primul sfert al secolului XX. A fost ca un cutremur masiv ale cărui trepidații se mai simt și azi.

Scopul acestei cărți este de a face cunoscute legile fundamentale ale fizicii întruchipate în revoluțiile cuantică și relativistă într-un limbaj cât mai simplu cu putință. Această înțelegere mai profundă a legilor naturii și ale cosmosului ne face să reflectăm că trăim într-un univers incomprehensibil. Un univers într-adevăr misterios.

La începutul secolului XX s-a descoperit că legile fizicii formulate de Newton, Young, Maxwell și alții sunt valabile numai pentru obiecte mari, lumină intensă și obiecte care se mișcă foarte lent în comparație cu viteza luminii. Pentru obiecte mici precum electronii și atomii, semnale luminoase foarte slabe și obiecte cu viteze foarte mari, aceste legi eșuează lamentabil. De exemplu, lumina se poate comporta deopotrivă ca o undă și ca o particulă. În mod asemănător, și un atom se poate comporta deopotrivă ca o particulă și ca o undă. Iar cineva care se deplasează cu o viteză apropiată de cea a luminii trăiește mult mai mult în comparație cu o persoană în repaus.

În zorii secolului XX, două revoluții au avut loc independent una de cealaltă. Prima i s-a datorat în întregime lui Albert Einstein, care și-a formulat teoriile relativității în primii douăzeci de ani ai secolului XX. Aceste teorii vor revoluționa înțelegerea noastră privind spațiul și timpul în moduri ce contravin simțului comun. Ele au consecințe vaste pentru înțelegerea nașterii și evoluției universului.

A doua revoluție a fost nașterea mecanicii cuantice, a cărei elaborare a durat circa 30 de ani, începând din decembrie 1900. Mecanica cuantică a oferit legile care guvernează mișcarea obiectelor și

interacțiunile lor reciproce, iar aceste legi sunt de neimaginat în viața noastră de zi cu zi. Ele contrazic modul în care percepem adânc înrădăcinatul nostru concept de realitate.

În pofida naturii extrem de contraintuitive a acestor teorii, mecanica cuantică și teoria relativității sunt poate teoriile cele mai încununate de succes din istoria omenirii. Justificarea acestei pretenții remarcabile este că, după mai bine de un secol, nu s-a descoperit nici un fenomen fizic care să încalce predicțiile acestor teorii. Și asta în pofida progreselor enorme în precizia cu care se pot efectua măsurătorile. De exemplu, timpul poate fi măsurat cu o precizie de o miliardime dintr-o miliardime de secundă, distanța cu o bilionime dintr-un metru (10^{-12} m), temperatura cu o milionime dintr-un grad Kelvin¹, iar greutatea cu o miliardime dintr-un gram. Putem vedea și manipula un singur atom și răci un gaz până acolo încât atomii și moleculele își pierd identitatea. Putem efectua experimente în care lumina constă într-un singur „foton“ și chiar manipula interacțiunea unui singur „foton“ cu un singur atom. În toate experimentele de acest fel rezultatele diferă foarte mult de predicțiile fizicii secolului XIX, dar în mod remarcabil ele sunt în perfect acord cu predicțiile mecanicii cuantice.

În cartea de față, oferim pentru început un scurt istoric al modului cum a evoluat mecanica cuantică din mecanica clasică. Încercăm apoi să prezentăm chestiunile legate de fundamentele teoriei cuantice într-un limbaj care să fie inteligibil chiar și nefizicienilor. În ultima parte vom discuta teoriile relativității restrânse și generale ale lui Einstein, precum și modul cum înțelegem universul în lumina acestor descoperiri, de asemenea într-un limbaj accesibil profanilor.

1. Kelvin este o scară de temperatură similară celei Celsius, dar deplasată cu 273 grade. De exemplu, 0°C este egal cu - 273 Kelvin, 10°C este egal cu - 263 Kelvin etc. Scara Kelvin (K) este aleasă astfel încât 0 K este cea mai joasă temperatură posibilă (zero absolut).

PARTEA I
ISTORIC

2. MECANICA NEWTONIANĂ ȘI LUMEA DETERMINISTĂ

Căutător al adevărului nu este acela care studiază scrierile celor din vechime și, urmându-și pornirea naturală, se încrede în ele, ci acela care-și pune la îndoielă credința în ele și se întreabă cu ce se alege din ele, acela care se supune argumentului și demonstrației.

— Ibn al Haytham

Ulm este locul de naștere al lui Albert Einstein. Reperul cel mai proeminent în oraș este o catedrală numită Ulmer Munster, cu una dintre cele mai mari și mai maiestuoase turlle din lume. În timpul celui de-al Doilea Război Mondial catedrala a fost grav avariată. Asemenea altor locuri însă, germanii au reconstruit-o așa încât un vizitator nu-și dă seama cât de grav a fost avariată până nu vede fotografiile făcute imediat după război. În timpul reconstrucției ei au înlocuit vitraliile care fuseseră distruse. Unul dintre ele e deosebit de interesant: îi reprezintă pe Copernic, Kepler, Galilei, Newton și Einstein (fig. 2.1). E neobișnuit să vezi imagini ale unor oameni de știință într-o catedrală, unde te aștepți să vezi doar imagini și statui ale lui Cristos, ale apostolilor și ale sfinților creștini. Încă și mai remarcabilă e selecția oamenilor de știință – în definitiv, Germania e țara unde s-au născut mulți alți oameni de știință. Prin ce s-au distins Copernic, Kepler, Galilei, Newton și Einstein? De ce giganți ai științei occidentale precum Faraday, Maxwell, Heisenberg, Schrödinger și Dirac au fost ignorați? O examinare atentă dezvăluie că cei dintâi au un lucru în comun: toți au explicat legile referitoare la obiectele cosmice. Încă din Antichitate, oamenii și-au ridicat privirea spre cer, și-au pus întrebări despre misterioșii aștri strălucitori și au căutat să înțeleagă mai bine acele obiecte stranii.

Aceste alegeri sunt justificate și din altă perspectivă. În decembrie 1999 se încheia nu doar un an, ci un secol și un mileniu. Revista *Time* căuta Persoana Secolului, secolul XX. Voia să numească

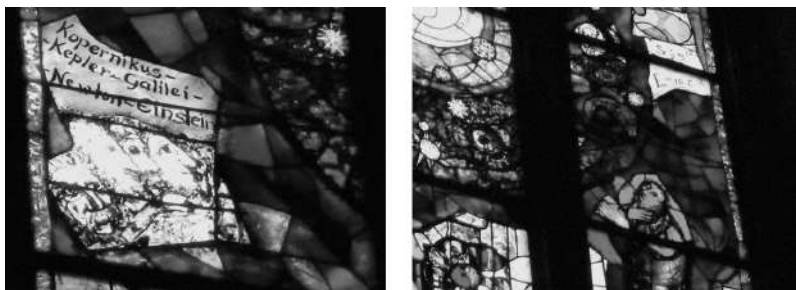


Fig. 2.1 Vitraliu de la catedrala din Ulm.

persoana care a avut cea mai mare influență asupra omenirii în precedenta sută de ani. Se punea de asemenea întrebarea cine a fost cea mai influentă persoană din ultima mie de ani. Erau multe nume ilustre de ales din cele mai diverse domenii – politicieni, poeți, scriitori, filozofi, reformatori, cuceritori și oameni de știință. Remarcabil este că, într-o asemenea competiție acerbă, Einstein a fost ales Omul Secolului, iar Newton a fost desemnat cea mai influentă persoană din ultima mie de ani.

E justificat să ne întrebăm de ce Newton e perceput ca o figură emblematică a istoriei? Ce a făcut așa încât să dobândească reputația de cea mai influentă persoană a ultimului mileniu?

2.1 Newton și legile mișcării

Sir Isaac Newton s-a născut ca orfan* în 1642, anul morții lui Galileo Galilei. Opera sa a inaugurat era științifică modernă și a pus bazele revoluției industriale din secolele XVIII și XIX. A avut contribuții în toate ramurile matematicii și a inventat analiza matematică, care a oferit instrumentele pentru rezolvarea unor probleme complicate din toate ramurile științei. Impactul său nu e diminuat de faptul că un matematician german, Gottfried Leibniz, a inventat și el analiza matematică, independent și cam în același timp cu Newton.

* Tatăl său, numit tot Isaac Newton, murise cu trei luni înainte. (Notele cu asterix îi aparțin traducătorului. Cele cu cifre romane sunt ale autorului.)