

UNIVERSUL ELEGANT

Născut la New York în 1963, BRIAN GREENE a dovedit din copilărie aptitudini excepționale pentru matematică. După studii la Harvard și un doctorat susținut la Oxford, a lucrat în cadrul Facultății de Fizică a Universității Cornell, iar din 1996 este profesor la Universitatea Columbia. Contribuțiile sale în domeniul teoriei corzilor și cosmologiei îl așază în rândul celor mai importanți fizicieni teoreticieni ai zilelor noastre.

BRIAN GREENE

UNIVERSUL ELEGANT

Supercorzi, dimensiuni ascunse
și căutarea teoriei ultime

Traducere din engleză de
DRAGOȘ ANGHEL și
ANAMIRELA-PAULA ANGHEL



HUMANITAS
BUCUREȘTI

Redactor: Vlad Zografî
Coperta: Ionuț Broștîanu
Tehnoredactor: Luminița Simionescu
Corector: Marilena Bălășel
DTP: Stelian Bigan, Cornel Drăghia

Tipărit la R.A. Monitorul Oficial

Brian Greene
The Elegant Universe
© 1999, 2003 by Brian R. Greene
All rights reserved.

© HUMANITAS, 2011, pentru prezenta versiune românească

ISBN 978-973-50-3195-4
Descrierea CIP este disponibilă la
Biblioteca Națională a României

EDITURA HUMANITAS
Piața Presei Libere 1, 013701 București, România
tel. 021/408 83 50, fax 021/408 83 51
www.humanitas.ro

Comenzi Carte prin poștă: tel./fax 021/311 23 30
C.P.C.E. – CP 14, București
e-mail: cpp@humanitas.ro
www.libhumanitas.ro

*Mamei mele
și memoriei tatălui meu,
cu dragoste
și recunoștință*

Partea I
La limita cunoașterii

Înfășurat în corzi

S-o numim conspirație a tăcerii ar fi mult prea dramatic. Dar timp de mai bine de o jumătate de secol – chiar în toiul unora dintre cele mai mari realizări științifice din istorie – pe tăcute, fizicienii erau conștienți de amenințarea norului întunecat care se ivea la orizont. Problema este următoarea: există doi piloni fundamentali pe care se bazează fizica modernă. Unul este teoria generală a relativității a lui Einstein, care oferă cadrul teoretic de înțelegere a universului la cea mai mare scară de dimensiuni: stele, galaxii, roiuri de galaxii și dincolo de ele, în imensitatea întregului univers. Celălalt este mecanica cuantică, care oferă cadrul teoretic de înțelegere a universului la scara cea mai mică: de la molecule, atomi, până la particulele subatomice, cum ar fi electronii și cuarzii. În cursul multor ani de cercetări, fizicienii au confirmat experimental, cu o precizie inimaginabilă, practic toate predicțiile făcute de fiecare dintre aceste teorii. Însă aceste sisteme teoretice duc inexorabil la o concluzie tulburătoare: în actuala lor formulare, teoria generală a relativității și mecanica cuantică *nu pot fi amândouă corecte*. Cele două teorii care stau la baza progresului fantastic făcut de fizică în ultima sută de ani – progres datorită căruia s-a explicat expansiunea universului și structura fundamentală a materiei – sunt reciproc incompatibile.

Dacă nu ați mai auzit până acum despre acest antagonism feroce, vă veți întreba de ce. Răspunsul nu e greu de dat. În afara situațiilor extreme, fizicienii studiază obiecte care sunt fie mici și ușoare (ca atomii și constituenții lor), fie enorme și grele (ca stelele și galaxiile), dar nu pe amândouă. Aceasta înseamnă că ei au nevoie *fie* numai de mecanica cuantică, *fie* numai de teoria generală a relativității, așa că

pot ignora, după o privire fugară, nepotrivirea alarmantă dintre ele. Acest mod de abordare al ultimilor cincizeci de ani poate fi considerat destul de apropiat de ignoranță.

Universul însă *se poate* afla în condiții extreme. În centrul găurilor negre, o masă enormă este strivită până la o dimensiune minusculă. În momentul mării explozii, întregul univers a erupt dintr-un grăunte microscopic a cărui dimensiune face ca firul de nisip să pară colosal. Acestea sunt domenii minuscule, și totuși incredibil de masive, în care mecanica cuantică și teoria generală a relativității trebuie să coexiste. Din motive care vor deveni din ce în ce mai clare pe măsură ce avansăm, atunci când se combină ecuațiile teoriei generale a relativității cu cele ale mecanicii cuantice, acestea încep să se scuture, să se zgâlțâie și să pufăie ca un automobil turat la maximum. Cu alte cuvinte, întrebări fizice bine puse primesc răspunsuri fără sens din amalgamul nefericit al acestor două teorii. Chiar dacă vrem să păstrăm misterul asupra adâncurilor găurilor negre sau asupra începuturilor universului, nu putem ignora sentimentul că ostilitatea existentă între mecanica cuantică și teoria generală a relativității cere un nivel de înțelegere mai profund. E cu puțință ca universul să fie divizat la cel mai profund nivel, necesitând un anumit set de legi pentru obiectele mari și un cu totul alt set pentru obiectele mici?

Teoria supercorzilor, o nou-venită în comparație cu venerabilele edificii reprezentate de mecanica cuantică și teoria generală a relativității, ne răspunde printr-un „nu“ hotărât. Intensele cercetări din ultimul deceniu întreprinse de fizicienii și matematicienii din toată lumea au dovedit că această nouă abordare care descrie materia până la cel mai profund nivel rezolvă tensiunile existente între teoria generală a relativității și mecanica cuantică. De fapt, teoria supercorzilor ne demonstrează și mai multe: în acest nou cadru, relativitatea generală și mecanica cuantică *au nevoie una de cealaltă* pentru ca teoria să aibă sens. Conform teoriei supercorzilor, acest mariaj dintre legile corpurilor mari și legile corpurilor mici nu e numai fericit, ci și inevitabil.

Acestea sunt doar o parte dintre veștile bune. Teoria supercorzilor – mai pe scurt, teoria corzilor – duce această uniune cu un pas imens mai departe. Timp de treizeci de ani, Einstein a căutat o teorie unificatoare care să întrețeară toate legile naturii și constituenții ei materiali, formând o singură tapiserie teoretică. A eșuat însă. Acum, în zorii noului mileniu, adepții teoriei corzilor pretind că firele acestei

tapiserii insesizabile au fost, în sfârșit, găsite. Teoria corzilor poate arăta că toate lucrurile minunate care se petrec în univers – de la dansul frenetic al cuarcilor subatomici până la valsul maiestuos al rotirii pe orbită a stelelor binare, de la bulgărele de foc primordial al mării explozii până la impunătoarea rotație a galaxiilor cerești – toate sunt reflecții ale unui singur principiu fizic măreț, ale unei singure ecuații supreme.

Deoarece aceste caracteristici ale teoriei corzilor necesită schimbarea radicală a concepțiilor noastre despre spațiu, timp și materie, ne va trebui un timp pentru a ne obișnui cu ele, pentru a ajunge la un nivel confortabil de înțelegere. Dar așa cum va deveni de altfel clar în contextul adecvat, teoria corzilor apare ca o consecință spectaculoasă și totuși naturală, provocată de descoperirile revoluționare ale fizicii din ultima sută de ani. Vom vedea că acest conflict dintre teoria generală a relativității și mecanica cuantică nu este de fapt primul, ci al treilea dintr-un șir de conflicte majore prin care a trecut fizica în ultima sută de ani, iar rezolvarea fiecăruia dintre ele a condus la o schimbare radicală a modului nostru de a privi universul.

Cele trei conflicte

Primul conflict, recunoscut ca atare încă de la sfârșitul secolului XIX, se referă la proprietățile ciudate ale mișcării luminii. Pe scurt, conform legilor de mișcare ale lui Newton, dacă alergi suficient de repede, poți prinde din urmă o rază de lumină, în timp ce legile electromagnetismului ale lui James Clerk Maxwell ne spun că acest lucru nu e posibil. Așa cum vom vedea în capitolul 2, Einstein a rezolvat acest conflict prin teoria specială a relativității, iar astfel a modificat radical concepțiile noastre despre spațiu și timp. Conform teoriei speciale a relativității, spațiul și timpul nu mai pot fi privite ca niște concepte universale imuabile, pe care le percepem cu toții în același mod. Din transformarea săvârșită de Einstein, spațiul și timpul apar ca niște constructe maleabile a căror formă depinde de starea de mișcare a observatorului.

Dezvoltarea teoriei speciale a relativității a pregătit imediat terenul pentru cel de-al doilea conflict. Una din concluziile lucrărilor lui Einstein este că nici un obiect – de fapt nici o influență sau perturbație de orice fel – nu se poate deplasa mai repede decât viteza luminii.

Însă, așa cum vom vedea în capitolul 3, teoria universală a gravitației a lui Newton, foarte bine verificată experimental și atrăgătoare din punct de vedere intuitiv, implică influențe care se transmit *instantaneu* la distanțe enorme. Tot Einstein a fost cel care a rezolvat și acest conflict, în 1915, oferind o nouă concepție asupra gravitației prin teoria generală a relativității. Așa cum teoria specială a relativității a răsturnat concepțiile anterioare asupra spațiului și timpului, la fel s-a întâmplat și în cazul teoriei generale a relativității. Nu numai că spațiul și timpul sunt influențate de starea de mișcare a observatorului, dar ele se pot și deforma și curba ca răspuns la prezența materiei sau energiei. După cum vom vedea, aceste distorsiuni ale texturii spațiului și timpului transmit forța gravitațională dintr-un loc într-altul. Deci spațiul și timpul nu mai pot fi privite ca un fundal inert pe care se desfășoară evenimentele universului; din perspectiva teoriilor specială și generală a relativității, acestea devin participanți intimi la evenimente.

Istoria s-a mai repetat o dată: descoperirea teoriei generale a relativității a rezolvat un conflict și a generat un altul. De-a lungul a trei decenii, începând din 1900, fizicienii au elaborat mecanica cuantică (despre care vom vorbi în capitolul 4) în urma numeroaselor probleme evidente apărute la aplicarea concepțiilor fizicii secolului XIX asupra fenomenelor din lumea microscopică. Și, așa cum am menționat mai sus, al treilea și cel mai profund conflict apare din incompatibilitatea dintre mecanica cuantică și teoria generală a relativității. După cum se va vedea în capitolul 5, forma geometrică ușor curbată a spațiului rezultat din teoria generală a relativității este în dezacord cu frenezia haotică a universului microscopic descris de mecanica cuantică. Cum abia pe la mijlocul anilor 1980 teoria corzilor a oferit o soluție, conflictul a fost pe drept cuvânt numit problema centrală a fizicii moderne. În plus, întemeindu-se pe teoria generală și teoria specială a relativității, teoria corzilor necesită o altă revizuire drastică a concepțiilor noastre despre spațiu și timp. De exemplu, cei mai mulți dintre noi luăm drept evident faptul că universul nostru are trei dimensiuni spațiale. Acest lucru nu e însă adevărat conform teoriei corzilor, care susține că universul nostru are mult mai multe dimensiuni decât ni se pare nouă – dimensiuni care sunt strâns înfășurate în faldurile texturii cosmosului. Acest mod remarcabil de a privi spațiul și timpul este atât de important, încât îl vom folosi ca temă călăuzitoare în cele ce

urmează. Teoria corzilor este într-adevăr povestea spațiului și timpului de la Einstein încoace.

Pentru a înțelege ce este de fapt teoria corzilor, va trebui să facem un pas înapoi și să prezentăm pe scurt ce am aflat de-a lungul ultimului secol despre structura microscopică a universului.

Universul la scara cea mai mică: ce știm despre materie

Vechii greci au presupus că toate lucrurile din univers sunt compuse din ingrediente minuscule „indivizibile”, pe care le-au numit *atomi*. Așa cum numărul enorm de cuvinte dintr-o limbă alfabetică e alcătuit din combinații ale unui număr mai mic de litere, ei s-au gândit că gama largă de obiecte materiale ar putea de asemenea rezulta din combinații ale unui număr mic de constituenți elementari distincți. Aceasta a fost o adevărată profeție. După mai bine de 2000 de ani, noi încă o considerăm adevărată, cu toate că identitatea unităților fundamentale a cunoscut multe revizuri. În secolul XIX, oamenii de știință au demonstrat că multe dintre substanțele familiare, precum oxigenul și carbonul, au un cel mai mic constituent identificabil; urmând tradiția instituită de greci, ei au numit acești constituenți *atomi*. Numele le-a rămas, deși istoria a demonstrat că termenul a fost greșit atribuit, deoarece atomii pot fi „țiați”. La începutul anilor 1930, eforturile colective ale lui J.J. Thomson, Ernest Rutherford, Niels Bohr și James Chadwick au dus la modelul planetar al atomului (atomul sub forma unui sistem solar), cu care majoritatea dintre noi suntem acum familiarizați. Departe de a fi cel mai simplu constituent material, atomul e alcătuit dintr-un nucleu, care conține protoni și neutroni, înconjurat de un roi de electroni care orbitează în jurul lui.

O vreme, mulți fizicieni au crezut că protonii, electronii și neutronii sunt „atomii” grecilor. Dar, în 1968, experimentatorii de la Centrul Acceleratorului Liniar de la Stanford, folosindu-se de capacitatea sporită a tehnologiei de a sonda adâncimile microscopice ale materiei, au descoperit că nici protonii și nici neutronii nu sunt fundamentali. Ei au arătat că fiecare dintre aceștia constau din câte trei particule mai mici numite *cuarci* – nume fantezist, împrumutat dintr-un pasaj

din romanul *Finnegan's Wake* a lui James Joyce de către fizicianul teoretician Murray Gell-Mann, cel care prezisese existența lor. Experimentatorii au confirmat că există două tipuri de cuarci, numiți cu mult mai puțină fantezie „*up*“ (sus) și „*down*“ (jos). Un proton este constituit din doi cuarci *up* și un cuarc *down*, iar un neutron, din doi cuarci *down* și un cuarc *up*.

Tot ce se vede pe Pământ și pe cerul de deasupra noastră pare să fie alcătuit din combinații de electroni, cuarci *up* și cuarci *down*. Nu există nici o dovadă experimentală că aceste particule ar fi compuse din ceva mai mic. Pe de altă parte, există o mulțime de dovezi că universul conține mai multe tipuri de particule. Pe la mijlocul anilor '50, Frederick Reines și Clyde Cowan au obținut dovezi experimentale concludente privind existența unei a patra particule fundamentale, numită *neutrino* – o particulă a cărei existență fusese prezisă încă de la începutul anilor 1930 de Wolfgang Pauli. Neutrinoii s-au dovedit a fi foarte greu de găsit, deoarece sunt particule fantomatice care interacționează foarte rar cu altă materie: un neutrino de energie medie poate trece cu ușurință prin multe milioane de milioane de mile de plumb, fără să-i fie afectată în vreun fel mișcarea. Exact în acest moment, în timp ce citiți această carte, miliarde de neutrinoi emiși în spațiu de Soare trec prin corpul vostru și prin Pământ în lunga lor călătorie singulară prin cosmos. La sfârșitul anilor 1930, fizicienii care studiau razele cosmice (jeturi de particule venite din spațiu și care bombardează Pământul) au descoperit particula numită *miuon* – identică cu electronul, dar având o masă de 200 de ori mai mare. Datorită faptului că la vremea aceea în ordinea cosmică nu exista nimic care să necesite existența miuonului – nici o dilemă nerezolvată, nici o nișă în construcțiile teoretice –, fizicianul Isidor Isaac Rabi, laureat al premiului Nobel, a salutat descoperirea miuonului cu un „Cine a comandat asta?“ total lipsit de entuziasm. Totuși, miuonul exista și multe urmau să se întâmple.

Folosind tehnologii din ce în ce mai avansate, fizicienii au continuat să izbească una de alta bucăți de materie, la energii din ce în ce mai înalte, recreând pentru scurt timp condiții nemaîntâlnite de la marea explozie. Au căutat apoi printre schije noi ingrediente fundamentale, pentru a-i adăuga la lista particulelor aflate în continuă creștere. Iată ce au descoperit: încă patru cuarci – *charm* (farmec), *strange* (straniu), *bottom* (bază) și *top* (vârf) – și o altă rudă, și mai grea, a electronului, numită *tau*, împreună cu alte două particule cu proprietăți

similare neutrinului (numite *neutrینul miuonic* și *neutrینul taonic*, pentru a le deosebi de neutrینul inițial care acum se numește *neutrینul electronic*). Aceste particule sunt produse prin ciocniri la energie înaltă, iar existența lor este efemeră; ele nu sunt printre constituenții tipici ai nici unui element întâlnit în mod obișnuit. Dar nici acesta nu e sfârșitul poveștii. Fiecare dintre aceste particule are un partener *antiparticulă* – o particulă de masă identică, dar având unele proprietăți opuse, de exemplu sarcina electrică (sau sarcinile corespunzătoare altor tipuri de forțe, prezentate mai jos). De exemplu antiparticula unui electron se numește *pozitron* – are exact aceeași masă ca electronul, însă sarcina lui electrică este +1, în timp ce sarcina electrică a electronului este -1. Atunci când vin în contact, materia și antimateria se pot anihila reciproc, producând energie pură – de aceea în lumea înconjurătoare antimateria apare extrem de rar.

Fizicienii au identificat o schemă căreia i se supun aceste particule, prezentată în tabelul 1.1. Particulele de materie se încadrează cu

Familia 1		Familia 2		Familia 3	
Particula	Masa	Particula	Masa	Particula	Masa
Electron	0,00054	Miuon	0,11	Tau	1,9
Neutrینul electronic	$<10^{-8}$	Neutrینul miuonic	$<0,0003$	Neutrینul taonic	$<0,033$
Cuarcul up	0,0047	Cuarcul charm	1,6	Cuarcul top	189
Cuarcul down	0,0074	Cuarcul strange	0,16	Cuarcul bottom	5,2

Tabelul 1.1 Cele trei familii de particule fundamentale și masele lor (unitatea de masă este masa protonului). Valorile maselor neutrینilor nu au putut fi încă determinate experimental.*

* După apariția cărții s-a descoperit experimental că neutrinii au masă, iar determinarea acestor mase face acum obiectul unor intense investigații experimentale. (*N. red.*)

Cuprins

Prefața din 2003	7
Prefață	11
Partea I. La limita cunoașterii	15
1. Înfășurat în corzi	17
Partea a II-a. Dilema spațiului, timpului și cuantelor	37
2. Spațiul, timpul și ochiul observatorului	39
3. Despre deformări și undulații	70
4. Ciudățeni microscopice	103
5. Necesitatea unei noi teorii: relativitatea generală și mecanica cuantică	136
Partea a III-a. Simfonia cosmică	151
6. Totul este muzică: bazele teoriei corzilor	153
7. Despre „super“ în teoria supercorzilor	186
8. Mai multe dimensiuni decât putem vedea	205
9. Potul cel mare: dovezile experimentale	231
Partea a IV-a. Teoria corzilor și textura spațio-temporală ...	249
10. Geometria cuantică	251
11. Ruperea texturii spațiale	282
12. Dincolo de corzi: în căutarea teoriei M	301
13. Găurile negre din perspectiva corzilor și a teoriei M ..	337
14. Reflecții asupra cosmologiei	362
Partea a V-a. Unificarea în secolul XXI	389
15. Perspective	391
Note	407
Glosar de termeni științifici	430