

DE CE
E=mc²?

Brian Cox este profesor de fizica particulelor la Universitatea din Manchester și unul dintre cei mai cunoscuți popularizatori ai științei din Marea Britanie prin programele sale de la BBC. A participat la experimentul ATLAS de la Marele Accelerator de Hadroni (LHC) de la CERN, în cadrul căruia a fost descoperită particula Higgs.

Jeff Forshaw este și el profesor de fizica particulelor la Universitatea din Manchester. A scris peste o sută de articole științifice, în special în domeniul cromodinamicii cuantice. Pentru contribuțiile sale a primit Medalia Maxwell și Premiul Kelvin.

BRIAN COX & JEFF FORSHAW

DE CE
 $E=mc^2?$

(Și de ce e important s-o știm?)

Traducere din engleză
de Iulian Comănescu

 HUMANITAS
BUCUREȘTI

Redactor: Vlad Zografi
Coperta: Angela Rotaru
Tehnoredactor: Manuela Măxineanu
Corector: Cristina Jelescu
DTP: Dragoș Dumitrescu, Dan Dulgheru

Tipărit la Artprint

Brian Cox and Jeff Forshaw
Why Does $E = mc^2$ (And Why Should We Care?)
Copyright © 2009 by Brian Cox and Jeff Forshaw
All rights reserved.

© HUMANITAS, 2023, pentru prezenta versiune în limba română

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
Cox, Brian
De ce $E=mc^2$? (Și de ce e important s-o știm?)/
Brian Cox și Jeff Forshaw; trad. din engleză
de Iulian Comănescu. – București: Humanitas, 2023
ISBN 978-973-50-8139-3
I. Forshaw, Jeff
II. Comănescu, Iulian (trad.)
53

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: 0723 684 194

*Familiilor noastre, și mai ales pentru Gia, Mo, George,
David, Barbara, Sandra, Naomi, Isabel, Sylvia, Thomas și Michael*

Cuprins

<i>Mulțumiri</i>	9
Prefață	11
1. Spațiu și timp	15
2. Viteza luminii	30
3. Relativitatea restrânsă	47
4. Spațiul-timp	65
5. De ce $E = mc^2$?	106
6. Și de ce e important s-o știm? Despre atomi, capcane de șoareci și puterea stelelor	140
7. Originea masei	163
8. Deformarea spațiului-timp	204

Mulțumiri

Mulțumim managementului și agenților noștri, Susan, Diane și George, precum și editorilor noștri, Ben și Cisca. Dintre colegii noștri oameni de știință, trebuie să le mulțumim mai cu seamă lui Richard Battye, Fred Loebinger, Robin Marshall, Simone Marzani, Ian Morison și Gavin Smith. Mulțumiri speciale lui Naomi Baker, mai ales pentru comentariile ei legate de primele capitole, și lui Gia Milinovich pentru că a pus întrebarea.

Prefață

Scopul nostru în această carte este de a prezenta teoria spațiului și timpului a lui Einstein în modul cel mai simplu cu putință, dezvăluindu-i în același timp profunda frumusețe. Vom ajunge astfel la celebra ecuație $E = mc^2$ folosind o matematică nu mai complicată decât teorema lui Pitagora. Nu vă faceți griji dacă nu vă mai amintiți teorema lui Pitagora, o vom explica și pe ea. Ne dorim de asemenea ca oricine citește această carte să înțeleagă cum concep fizicienii moderni natura și cum elaborează teorii care devin extrem de utile, schimbându-ne în ultimă instanță viețile. Construind un model al spațiului și timpului, Einstein a deschis calea înțelegerii felului în care strălucesc stelele, a dezvăluit motivul esențial pentru care motoarele și generatoarele electrice funcționează și, în ultimă instanță, a pus bazele întregii fizici moderne. Această carte își dorește și să fie provocatoare. Nu fizica în sine intră în discuție: teoriile lui Einstein sunt foarte bine fundamentate și susținute de numeroase dovezi experimentale, așa cum veți vedea parcurgând cartea. La un anumit moment, e foarte important s-o subliniem, Einstein ar putea fi obligat să se dea la o parte în fața unei imagini și mai precise a naturii. În știință nu există adevăruri universale, ci doar perspective asupra lumii a căror falsitate n-a fost încă demonstrată. Tot ce putem

spune cu certitudine este că, deocamdată, teoria lui Einstein funcționează. Provocarea noastră ține de altceva – de modul în care știința ne stimulează să gândim despre lumea din jurul nostru. Oameni de știință sau nu, cu toții avem intuiție și cu toții tragem concluzii privind lumea din experiențele noastre de zi cu zi. Dar dacă ne punem observațiile în lumina rece și precisă a metodei științifice, descoperim adesea că natura ne derutează intuiția. Pe măsură ce parcurgem această carte, vom descoperi că atunci când obiectele se deplasează cu viteze foarte mari, noțiunile de bun-simț despre spațiu și timp dispar și sunt înlocuite de ceva cu totul nou, neașteptat și elegant. Este o lecție salutară care ne îndeamnă la modestie și provoacă multor oameni de știință o senzație copleșitoare: universul e mult mai bogat decât ne-au făcut să credem experiențele noastre de zi cu zi. Poate că cel mai minunat lucru e că noua fizică, în ciuda bogăției ei, are o eleganță matematică impresionantă.

Oricât de dificilă pare uneori, în esență știința nu-i o disciplină complicată. Am îndrăzni chiar să spunem că e o încercare de a ne elibera de prejudecățile înnăscute pentru a observa lumea cât mai obiectiv posibil. Ea poate avea mai mult sau mai puțin succes în atingerea acestui scop, dar reușește fără îndoială să ne învețe cum „funcționează” universul. Cu adevărat greu e să învățăm să nu avem încredere în ce ne-ar plăcea să credem că sunt lucruri de bun-simț. Învățându-ne să acceptăm natura așa cum e, și nu așa cum prejudecățile noastre sugerează că ar fi, metoda științifică a clădit lumea modernă, tehnologică. Pe scurt, metoda funcționează.

În prima jumătate a cărții vom deduce ecuația $E = mc^2$. Prin „deducție” înțelegem că vom arăta cum a ajuns Einstein la concluzia că energia este egală cu masa înmulțită cu

viteza luminii la pătrat, adică ceea ce afirmă ecuația. Gândiți-vă la acest lucru pentru o clipă, și vi se va părea foarte ciudat. Probabil că cel mai familiar tip de energie este energia cinetică. Dacă cineva îți aruncă o minge de cricket în față, te va durea când te lovește. Un fizician ar spune că asta se întâmplă pentru că cel care aruncă mingea de cricket îi imprimă o energie, iar această energie e transferată feței tale când fața ta oprește mingea. Masa e o măsură a cantității de materie conținută într-un obiect. O minge de cricket e mai masivă decât una de tenis de masă, dar mai puțin masivă decât o planetă. Ceea ce spune $E = mc^2$ este că energia și masa sunt interșanjabile, așa cum sunt dolarii și euro, și că rata de schimb e viteza luminii la pătrat. Cum a putut ajunge Einstein la concluzia asta, și cum și-a făcut loc viteza luminii într-o ecuație legată de energie și masă? Nu vom presupune existența unor cunoștințe științifice prealabile, și vom evita pe cât posibil matematica. Totuși, ceea ce vrem e să oferim cititorului o explicație veritabilă (nu o simplă prezentare) a științei. Tocmai în această privință sperăm să putem oferi ceva nou.

În părțile următoare ale cărții vom vedea cum ne structurează $E = mc^2$ înțelegerea proceselor din univers. De ce strălucesc stelele? De ce este energia nucleară mult mai eficientă decât cărbunele sau petrolul? Ce este masa? Această întrebare ne va duce în lumea fizicii moderne a particulelor, la Marele Accelerator de Hadroni de la CERN, din Geneva, și la căutarea particulei Higgs, care ar putea duce la o explicație privind originea masei. Cartea se încheie cu remarcabila descoperire a lui Einstein că structura spațiului și timpului e în ultimă instanță responsabilă pentru forța gravitațională și strania idee că Pământul cade „în linie dreaptă“ în jurul Soarelui.

1. Spațiu și timp

Ce înseamnă cuvintele „spațiu“ și „timp“ pentru tine? Poate îți imaginezi că spațiul e întinderea întunecată dintre stele, atunci când ridici ochii spre cer într-o noapte rece de iarnă. Sau îți închipui poate vidul dintre Pământ și Lună, prin care trece o navă spațială învelită în folie aurie decorată cu stele și dungi ca drapelul Statelor Unite, pilotată prin pustietatea magnifică de exploratori cu capul ras și nume precum Buzz. Timpul poate fi ticăitul ceasului sau frunzele care se înroșesc atunci când Pământul se rotește în jurul Soarelui, iar înclinarea axei împinge latitudinile nordice spre umbră pentru a cincea miliardă oară. Cu toții avem o percepție intuitivă a spațiului și timpului. Ele fac parte din țesătura existenței noastre. Ne mișcăm prin spațiu, pe suprafața lumii noastre albastre, iar timpul ticăie.

La sfârșitul secolului XIX, o serie de descoperiri științifice din domenii aparent neînrudite au început să-i oblige pe fizicieni să reexamineze aceste percepții simple și intuitive privind spațiul și timpul. La începutul secolului XX, Hermann Minkowski, colegul și profesorul lui Albert Einstein, a fost atât de impresionat de toate acestea încât a scris necrologul devenit astăzi faimos al unei epoci în care planetele se învârteau pe orbită și se făceau călătorii impresionante:

„De acum înainte, spațiul în sine și timpul în sine au dispărut ca niște umbre, și numai un fel de combinație a celor două există ca atare.“

Ce voia să spună Minkowski prin combinația dintre spațiu și timp? A înțelege afirmația lui aproape mistică înseamnă a înțelege teoria relativității restrânse a lui Einstein, cea care a introdus în lume cea mai celebră dintre ecuații, $E = mc^2$, și a plasat pentru totdeauna în centrul înțelegerii universului cantitatea simbolizată prin c , viteza luminii.

Teoria relativității restrânse a lui Einstein e în esență o descriere a spațiului și timpului. Locul central în această teorie îl ocupă ideea unei viteze speciale, o viteză dincolo de care nimic din acest univers, oricât de puternic ar fi, nu poate accelera. Această viteză e viteza luminii: 299.792.458 de metri pe secundă în vidul spațiului cosmic gol. Călătorind cu această viteză, o rază de lumină plecată de pe Pământ ajunge în opt minute la Soare, traversează Calea Lactee în 100.000 de ani și are nevoie de peste două milioane de ani ca să ajungă la Andromeda, cea mai apropiată galaxie vecină. La noapte, cele mai mari telescoape de pe Pământ vor privi în întunericul spațiului și vor primi lumina străveche a unor sori aflați departe, la marginea universului observabil, care au murit de mult. Lumina care ajunge la telescoape și-a început călătoria acum peste zece miliarde de ani, cu câteva miliarde de ani înainte de formarea Pământului prin condensarea unui nor de praf interstelar. Viteza luminii e foarte mare, dar nu infinită. Atunci când trebuie să parcurgă vastele distanțe dintre stele și galaxii, lumina poate fi frustrant de lentă. Atât de lentă, încât putem accelera obiecte foarte mici până la o fracțiune din viteza ei, cu instalații precum Marele Accelerator de Hadroni, cu circumferința de 27 de kilometri, de la Geneva (CERN).

Existența unei asemenea viteze speciale, o viteză-limită cosmică, este o idee stranie. Așa cum vom vedea în această carte, faptul că e vorba chiar de viteza luminii riscă să ne deruteze. Ea joacă un rol mult mai important în universul lui Einstein, și există un motiv pentru care lumina călătorește cu această viteză. Vom ajunge și acolo. Deocamdată e suficient să spunem că, atunci când obiectele se apropie de această viteză specială, încep să se petreacă lucruri stranii. Cum altfel ar putea fi împiedicat un obiect să accelereze dincolo de această viteză? E ca și cum ar exista o lege universală a fizicii care împiedică mașina ta să meargă mai repede de 120 de kilometri pe oră, oricât de mare ar fi motorul. Dar, spre deosebire de restricțiile de viteză, legea fizică nu trebuie impusă de vreo poliție eterică. Însăși țesătura spațiului și timpului este construită așa încât e absolut imposibil să încalci această lege – din fericire, fiindcă altminteri ar exista consecințe neplăcute. Vom vedea mai târziu că, dacă ar fi posibil să depășim viteza luminii, am putea construi mașini ale timpului capabile să ne transporte înapoi în istorie, în orice punct din trecut. Ne-am putea imagina că ne întoarcem în timp până înainte de nașterea noastră și, din greșeală sau intenționat, ne împiedicăm părinții să se întâlnească. De aici poate ieși un SF excelent, dar nu așa se construiește un univers, iar Einstein a descoperit că, într-adevăr, universul nu e construit așa. Spațiul și timpul sunt delicat întreșute într-un mod care împiedică apariția unor asemenea paradoxuri. Dar toate acestea au un preț: trebuie să ne descotorosim de noțiunile de spațiu și timp adânc înrădăcinate în noi. În universul lui Einstein ceasurile în mișcare ticăie încet, obiectele în mișcare se contractă și putem călători miliarde de ani în viitor. Este un univers în care durata unei vieți omenești poate fi extinsă aproape

nedefinit. Am putea urmări Soarele murind, oceanele Pământului fierbând și evaporându-se și sistemul nostru solar plonjând în noapte veșnică. Am putea urmări nașterea stelelor din vârtejuri de praf, formarea planetelor și, poate, apariția vieții pe planete noi, care încă nu s-au format. Universul lui Einstein ne permite să călătorim în viitorul îndepărtat, dar ține zăvorâte ușile trecutului în spatele nostru.

La sfârșitul acestei cărți vom înțelege cum a fost Einstein obligat să-și imagineze un asemenea univers fantastic și cum această imagine a fost confirmată de numeroase experimente științifice și aplicații tehnologice. Sistemul de navigație prin satelit din mașina ta, de exemplu, e proiectat pentru a ține cont de faptul că timpul ticăie în alt ritm în sateliții de pe orbită decât pe Pământ. Perspectiva lui Einstein e radicală: spațiul și timpul nu sunt ce par a fi.

Dar să nu anticipăm. Pentru a înțelege și aprecia descoperirea radicală a lui Einstein, trebuie mai întâi să analizăm atent cele două noțiuni din centrul teoriei relativității, spațiul și timpul.

Imaginează-ți că citești o carte în timp ce zbori cu avionul. La ora 12.00 te uiți la ceas, hotărăști să lași cartea jos, te ridici de pe scaun și pornești pe culoar ca să stai de vorbă cu un prieten aflat cu zece rânduri mai în față. La ora 12.15 te întorci la locul tău, te așezi și iei cartea. Simțul comun îți spune că te-ai întors în același loc. A trebuit să depășești aceleași zece rânduri ca să revii la scaunul tău, și, când te-ai întors, cartea era acolo unde o lăsaseși. Dar să ne gândim mai atent la noțiunea de „același loc“. Pare pedant, fiindcă intuitiv e clar ce vrem să spunem atunci când descriem un loc. Putem suna un prieten pentru a aranja o întâlnire la un pahar într-un bar, iar barul nu se va fi mutat în momentul în care vom sosi. Va fi în același loc în care l-am lăsat

pesemne cu o seară în urmă. Sunt și alte lucruri care par pedante în acest capitol introductiv, dar ai răbdare. Meditând atent la aceste noțiuni aparent evidente vom păși pe urmele lui Aristotel, Galileo Galilei, Isaac Newton și Einstein. Și atunci, cum am putea defini cu precizie ce vrem să spunem prin „același loc“? Știm deja cum să facem asta pe suprafața Pământului. Globul are o rețea de linii, pentru latitudine și longitudine, desenată pe suprafața lui. Orice loc de pe suprafața Pământului poate fi descris prin două numere, care reprezintă poziția pe această rețea. De pildă, orașul Manchester din Marea Britanie e situat la 53 de grade și 30 de minute nord și 2 grade și 15 minute vest. Aceste două numere ne spun exact unde găsim Manchesterul, dat fiind că suntem cu toții de acord în privința locului unde se află Ecuatorul și Meridianul Greenwich. Așadar, printr-o analogie simplă, un mod de a indica locul unde se află orice punct, pe suprafața Pământului sau nu, ar fi să ne imaginăm o rețea tridimensională, care se întinde în sus de la nivelul solului, în aer. În plus, rețeaua ar putea să și coboare sub suprafața Pământului, către centrul acestuia, și să iasă pe partea cealaltă. În acest caz, am putea descrie unde se situează orice obiect de pe lume în raport cu această rețea, fie el în aer, pe sol sau sub pământ. Și, de fapt, nici nu trebuie să ne mărginim la Pământ. Rețeaua s-ar putea extinde și mai departe, dincolo de Lună, de Jupiter, Neptun și Pluto, dincolo chiar de marginea Căii Lactee, către regiunile cele mai îndepărtate ale universului. Cu această rețea uriașă, posibil infinit de mare, am putea ști unde se află orice lucru, ceea ce, pentru a-l parafraza pe Woody Allen, e foarte folositor dacă ești genul de persoană care nu-și amintește niciodată unde și-a pus lucrurile. Rețeaua noastră definește prin urmare o arenă în care există totul, un fel de cutie gigantică,