

ŞASE LECTŢII UŞOARE

Richard Phillips Feynman s-a născut la New York în 1918. Din copilărie, înzestrările sale excepționale s-au manifestat în pasiunea pentru experimente și în capacitatea de a descoperi pe cont propriu matematica. A studiat la Institutul Tehnologic din Massachusetts și la Princeton. În timpul războiului, la Los Alamos, a participat la Proiectul Manhattan pentru construirea bombei atomice. După război, a predat la Universitatea Cornell, apoi, din 1951, la Institutul Tehnologic din California.

Principala sa contribuție în fizică a fost elaborarea metodei integralelor de drum, care i-a permis să formuleze o teorie deopotrivă riguroasă și intuitivă a electrodinamicii cuantice și pentru care a primit în 1965 Premiul Nobel (împreună cu Julian Schwinger și Sin-Itiro Tomonaga). Preocupările sale au cuprins un spectru uimitor de larg: fizica particulelor elementare, proprietățile heliului lichid, informatică, biologie, muzică, desen. Cunoscut pentru nonconformismul lui printre fizicieni, a dobândit și o celebritate publică în 1986, când a explicat pe înțelesul tuturor cauzele dezastrului navei Challenger. A murit în 1988.

RICHARD P. FEYNMAN

ŞASE LECTII
UŞOARE

Bazele fizicii explicate de cel
mai strălucit profesor

Text redactat de
RICHARD P. FEYNMAN,
ROBERT B. LEIGHTON și MATTHEW SANDS

Traducere din engleză de
MIHAI GAVRILĂ și OLIVIU GHERMAN

 HUMANITAS
BUCUREȘTI

Redactor: Vlad Zografi
Coperta: Ioana Nedelcu
Tehnoredactor: Luminița Simionescu
Corector: Georgiana Becheru

Tipărit la C.N.I. Coresi S.A.

Richard P. Feynman

Six Easy Pieces. Essentials of Physics Explained by Its Most Brilliant Teacher

© 1963, 1989, 1995 by the California Institute of Technology

First published in the United States by Basic Books, a member of the Perseus Books Group.

Romanian edition published by arrangement with Agenția Literară Livia Stoia.

© HUMANITAS, 2007, 2010, 2015, pentru prezenta versiune românească

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

Feynman, Richard P.

Șase lecții ușoare: bazele fizicii explicate de cel mai strălucit profesor / text redactat de Richard P. Feynman, Robert B. Leighton și Matthew Sands; trad.: Mihai Gavrilă, Oliviu Gherman. – Ed. a 3-a. – București: Humanitas, 2015

ISBN 978-973-50-5057-3

I. Leighton, Robert

II. Sands, Matthew

III. Gavrilă, Mihai (trad.)

IV. Gherman, Oliviu (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: 0372 743 382; 0723 684 194

Prefața lui Feynman

Acesta este cursul de fizică pe care l-am predat, în cei doi ani care au trecut, studenților din anii I și II de la Caltech. Desigur, lecțiile nu sunt redată cuvânt cu cuvânt — uneori ele au fost masiv prelucrate, alteori în mai mică măsură. Lecțiile formează doar o parte a cursului integral. Acesta a fost audiat de un grup de 180 de studenți, care se întruneau de două ori pe săptămână într-un amfiteatru mare, apoi se împărțeau în grupe de 15–20 de studenți pentru ședințe de seminar sub conducerea unui asistent. În plus, o dată pe săptămână avea loc o ședință de laborator.

Scopul principal al acestui curs a fost de a trezi interesul studenților entuziaști și capabili care veneau la Caltech de pe băncile școlilor medii. Aceștia auzeau o mulțime de lucruri despre cât de interesantă și captivantă e fizica — teoria relativității, mecanica cuantică și alte teorii moderne. Dar după ce urmau timp de doi ani acest curs, așa cum era predat anterior, mulți se simțeau descurajați, deoarece în realitate li se prezentau prea puține din ideile grandioase, noi, moderne. Erau puși să studieze planul înclinat, electrostatica și așa mai departe, iar după doi ani erau cuprinși de dezamăgire. S-a pus întrebarea dacă este sau nu posibil să fie conceput un curs care să-l salveze pe studentul mai avansat și mai capabil, menținându-i entuziasmul.

Cursul de față nu urmărește să acopere toate domeniile fizicii, dar pune probleme foarte dificile. M-am gândit să mă adresez celor mai inteligenți dintre auditori și să mă asigur, dacă se poate, că până și aceștia vor întâmpina dificultăți în a cuprinde întreg conținutul cursului, sugerând aplicarea ideilor și conceptelor în diverse direcții studiate, în afara direcției principale de atac. Cu toate acestea, am încercat cu insistență să fac expunerea cât mai precisă, subliniind în fiecare caz cum sunt încorporate în fizică formulele matematice și ideile și în ce sens vor putea fi ele modificate odată cu acumularea de noi cunoștințe. De asemenea, am simțit că pentru acești studenți e important să se indice ce ar trebui ei să fie în stare să deducă (dacă sunt suficient de ageri) din cele ce știau dinainte și ce era prezentat pentru prima oară. Când apărea câte o idee nouă, încercam fie s-o deduc, dacă putea fi dedusă, fie să explic că este o idee într-adevăr nouă, care nu se baza pe lucruri învățate anterior și nu putea fi demonstrată.

La începutul acestui curs presupun că studenții cunosc anumite lucruri din liceu — cum ar fi optica geometrică, ideile de bază ale chimiei etc. De asemenea, nu văd nici un motiv care să mă oblighe să țin lecțiile într-o anumită ordine strictă, în sensul că nu aș avea nevoie să menționez un fapt până când nu aș fi în stare să-l discut în detaliu. Am menționat cu anticipație, fără o discuție completă, o mulțime de probleme. Discuția completă urmează mai târziu, într-un stadiu mai avansat al cursului. Ca exemple pot fi date noțiunile de inductanță și nivele de energie atomice, prezentate mai întâi într-un mod esențialmente calitativ și dezvoltate apoi mai pe larg.

În timp ce mă adresem studentului activ, doream de asemenea să mă ocup și de cel pentru care rafinamentele și aplicațiile colaterale nu produc decât îngrijorare și care de la bun început este de așteptat că nu va putea asimila mare parte a materialului din curs. Pentru un asemenea student am vrut să existe cel puțin un nucleu central sau un fir conducător

pe care să-l poată urma. Chiar dacă nu va înțelege totul din curs, sper că nu îl voi înfuria. Nu îi cer să înțeleagă totul, ci doar ideile cele mai directe și centrale. Desigur, e necesară o anumită doză de inteligență din partea sa, pentru a vedea care sunt ideile și teoremele principale și care sunt problemele mai avansate, colaterale, eventual aplicațiile pe care le poate înțelege numai în anii următori.

În timpul predării acestui curs a existat o dificultate majoră: în condițiile în care a fost ținut cursul, nu am avut nici o informație asupra reacției studenților, care să indice cât de bine se desfășoară lecțiile. Aceasta a fost o dificultate foarte serioasă, astfel încât nu știu de fapt cât de bun e în realitate cursul. Totul a fost în esență un experiment, iar dacă ar fi să-l repet, n-aș mai face-o în același fel — dar sper să nu mai trebuiască să-l repet! Cred totuși că, în privința fizicii, în primul an lucrurile s-au desfășurat mulțumitor.

În anul al doilea nu am mai fost atât de mulțumit. În prima parte a cursului, referitoare la electricitate și magnetism, nu am putut imagina un mod cu adevărat unic și deosebit de predare — sau unul care să fie semnificativ mai interesant decât cel obișnuit. Prin urmare, nu cred că am realizat prea mult în lecțiile despre electricitate și magnetism. Inițial avusesem intenția ca la sfârșitul anului al doilea, după electricitate și magnetism, să continui cursul ținând câteva lecții despre proprietățile materialelor și, mai ales, să tratez probleme cum ar fi oscilațiile proprii, soluțiile ecuației difuziei, sisteme oscilante, funcții ortogonale etc., dezvoltând primele etape a ceea ce e cunoscut sub numele de „metode matematice ale fizicii“. Privind retrospectiv, cred că dacă aș mai ține o dată cursul m-aș întoarce la această idee inițială, însă, fiindcă nu s-a pus problema să mai țin încă o dată acest curs, s-a sugerat că ar fi bine să prezint o introducere în mecanica cuantică; ea se găsește în volumul III.

Este absolut clar că studenții care aleg fizica drept specialitate pot aștepta până în anul III pentru a studia mecanica

cuantică. Pe de altă parte, s-a adus argumentul că pentru mulți dintre studenții care urmează acest curs fizica reprezintă doar un cadru pentru preocupările lor primordiale din alte domenii. Modul obișnuit de a preda mecanica cuantică face însă ca acest capitol să fie aproape inabordabil pentru marea majoritate a studenților, deoarece le cere foarte mult timp. Cu toate acestea, în aplicațiile sale (în special în aplicațiile mai complexe, cum ar fi electrotehnica și chimia) nu se utilizează de fapt întregul aparat al ecuațiilor diferențiale. Ca urmare, am încercat să descriu principiile mecanicii cuantice într-un mod care să nu ceară o cunoaștere prealabilă a teoriei ecuațiilor cu derivate parțiale. Cred că încercarea de a prezenta mecanica cuantică în această manieră neobișnuită e interesantă chiar și pentru fizicieni — din motive ce vor rezulta din lecțiile înseși. Cred totuși că experimentul făcut cu predarea mecanicii cuantice nu a fost complet reușit, în mare măsură fiindcă spre sfârșit nu am avut suficient timp. (De exemplu, ar fi trebuit să mai am încă trei sau patru ședințe pentru a trata mai pe larg probleme ca benzile de energie și dependența spațială a amplitudinilor.) De asemenea, fiindcă nu mai prezentasem niciodată subiectul în acest mod, necunoașterea reacției studenților a fost o dificultate serioasă. Acum cred că mecanica cuantică trebuie predată mai târziu. Poate voi avea cândva ocazia s-o predau din nou. Atunci o voi face mai bine.

Motivul pentru care nu există lecții despre felul în care trebuie rezolvate problemele este că nu am ținut ședințe de seminar. Deși în primul an am avut trei lecții privind modul de rezolvare a problemelor, ele nu sunt incluse aici. A mai existat o lecție despre navigația inertială, care se situează după lecția referitoare la sistemele în rotație, dar care din nefericire a fost omisă. Lecțiile 5 și 6 le-a ținut Matthew Sands, întrucât eu am fost absent atunci.

Se pune desigur întrebarea: cât de bine a reușit acest experiment? Punctul meu de vedere e pesimist, însă el nu e

împărtășit de cea mai mare parte a celor care au lucrat cu studenții. Nu cred că am reușit prea bine. Având în vedere felul în care majoritatea studenților au tratat problemele la examene, mă gândesc că sistemul a dat greș. Prietenii mei îmi atrag atenția că au existat vreo zece–douăzeci de studenți care — în mod surprinzător — au înțeles aproape toată materia din curs și au studiat-o intens, preocupându-se de diferitele probleme cu entuziasm și interes. Cred că aceștia au acum o cultură generală solidă în fizică — și sunt, în definitiv, cei cărora m-am adresat în primul rând. Dar „puterea educației are rareori o mare eficacitate, cu excepția cazurilor fericite în care ea este aproape inutilă“ (Gibbons).

Totuși, nu am vrut să las să rămână în urmă nici un student, așa cum poate că s-a întâmplat în realitate. Cred că un mod de a-i ajuta mai mult pe studenți ar fi să se depună mai multe eforturi pentru elaborarea unei culegeri de probleme cât mai bune, care să lămurească unele idei din curs. Problemele oferă o bună ocazie de a completa materialul cursului, iar ele concretizează, completează și fixează în minte ideile expuse.

Cred însă că problema educației n-are soluție decât dacă înțelegi că modul optim de predare presupune cu necesitate o legătură directă între student și un profesor bun — situație în care studentul discută și meditează asupra ideilor. E imposibil să înveți prea multe asistând pur și simplu la un curs, sau chiar rezolvând problemele care îți sunt indicate. Dar în timpurile noastre moderne avem atât de mulți studenți cărora trebuie să le predăm, încât trebuie să încercăm să găsim un substitut pentru soluția ideală. Poate că acest curs va aduce o oarecare contribuție. Poate că undeva, într-un loc mai retras, unde există o legătură strânsă între profesor și studenți, aceștia vor putea extrage din el unele idei și sugestii. Poate că le va face plăcere să-l înțeleagă sau să-l dezvolte mai departe.

Atomi în mișcare

INTRODUCERE

Acest curs de fizică de doi ani este conceput considerând că dumneata, cititorule, vei deveni fizician. Desigur, nu e absolut necesar, dar asta presupune orice profesor, de orice specialitate ar fi el! Dacă vei deveni fizician, vei avea mult de studiat: cei două sute de ani ai domeniului de cunoaștere care se dezvoltă cel mai rapid dintre toate câte există. Atât de multe cunoștințe încât ai putea crede că n-o să le poți învăța în patru ani și, de fapt, nici n-ai să poți; va trebui să urmezi și cursuri de specializare.

E surprinzător faptul că, în ciuda imensei cantități de muncă depusă în tot acest răstimp, e posibil să se condenseze într-o mare măsură această enormă cantitate de rezultate, găsindu-se *legi* care rezumă toată cunoașterea noastră. Totuși, legile sunt atât de greu de înțeles încât ar fi incorect față de dumneata dacă am porni în explorarea acestui vast subiect fără un plan sau o schiță a relațiilor dintre o ramură a științei și alta. De aceea, conform acestor observații preliminare, primele trei capitole vor schița legătura fizicii cu restul științelor, legăturile științelor una cu alta și semnificația generală a științei, pentru a ne ajuta să căpătăm o „intuiție“ a subiectului.

Cuprins

<i>Notă asupra traducerii</i>	5
<i>Nota editorului american</i>	7
<i>Introducere</i> de Paul Davies	9
<i>Prefață</i> de David L. Goodstein și Gerry Neugebauer	21
<i>Prefața lui Feynman</i>	27
1. Atomi în mișcare	33
2. Concepțiile de bază ale fizicii	57
3. Legătura fizicii cu alte științe	83
4. Conservarea energiei	105
5. Teoria gravitației	125
6. Comportarea cuantică	153