

TEORIA RELATIVITĂȚII
PE ÎNȚELESUL TUTUROR

ALBERT EINSTEIN s-a născut la Ulm în Germania, la 14 martie 1879. A studiat matematică și fizică la Școala Politehnică Federală din Zürich între 1896 și 1900. În anii 1902–1908 a lucrat ca expert la Oficiul Federal de Patente din Berna și a publicat lucrări ce au atras atenția lumii științifice, printre care prima lucrare despre teoria specială a relativității în 1905. În anii 1908–1914 a fost profesor de fizică teoretică la universitățile din Berna, Zürich și Praga. În 1913 este ales membru al Academiei Prusiene de Științe și numit director al Institutului de Fizică al Societății „Împăratul Wilhelm” din Berlin, funcție pe care o păstrează până în 1933. După publicarea teoriei generale a relativității în anii primului război mondial și confirmarea uneia dintre predicțiile ei de către expediția astronomică a Societății Regale de Științe din Londra (1919), devine cel mai cunoscut om de știință al vremii sale. Odată cu instaurarea regimului național-socialist, Einstein își dă demisia din Academia Prusacă de Științe și părăsește definitiv Germania, stabilindu-se la Princeton, în Statele Unite ale Americii. În ultima parte a vieții, Einstein este recunoscut nu numai drept cea mai mare autoritate din fizica teoretică, ci și ca un mare umanist care încorporează în mod exemplar prin acțiunea lui socială și culturală, prin luările sale de poziție în problemele vieții publice spiritul libertății, al justiției sociale, respectul pentru demnitatea ființei umane. Moare la 18 aprilie 1955, la 76 de ani.

Scrierile de interes general ale lui Einstein sunt reunite în două volume: *Mein Weltbild* (1931) și *Out of my Later Years* (1950). În 1917, Einstein publică prima expunere a teoriei speciale și generale a relativității „pe înțelesul tuturor”.

ALBERT EINSTEIN

TEORIA RELATIVITĂȚII PE ÎNȚELESUL TUTUROR

Traducere din germană de
ILIE PÂRVU



HUMANITAS

BUCUREȘTI

Redactor: Vlad Zografi
Coperta: Ioana Dragomirescu Mardare
Corector: Maria Nicolau

Tipărit la „Pro Editură și Tipografie“

Allgemeinverständliche Relativitätstheorie
© The Hebrew University of Jerusalem

© HUMANITAS, 2005, 2006, 2008, 2010
pentru prezenta versiune românească

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
EINSTEIN, ALBERT

Teoria relativității pe înțelesul tuturor / Albert Einstein;
trad. Ilie Pârvu – București: Humanitas, 2010
ISBN 978-973-50-2783-4

I. Pârvu, Ilie (trad.)
530.12

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

CUVÂNT ÎNAINTE

Scopul acestei mici cărți este de a înlesni înțelegerea cât mai exactă a teoriei relativității pentru cei care se interesează din perspectivă general-științifică, filozofică, de teorie, dar nu stăpânesc aparatul matematic al fizicii teoretice.* Lectura ei presupune o anume maturitate de gândire și, în ciuda numărului mic de pagini, pretinde din partea cititorului multă răbdare și voință. Autorul și-a dat toată silința să prezinte ideile fundamentale cât mai clar și simplu cu putință, în ordinea și în conexiunea în care au apărut. În interesul clarității expunerii m-am văzut nevoit să mă repet adesea, fără a mai ține cont

* Fundamentele matematice ale teoriei speciale a relativității pot fi găsite în lucrările originale ale lui H.A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski apărute în editura B.G. Teubner în colecția de monografii *Fortschritte der Mathematischen Wissenschaften* cu titlul *Das Relativitätsprinzip*, precum și în cartea detaliată a lui M. Laue *Das Relativitätsprinzip* (editată de Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig). Teoria generală a relativității precum și instrumentele matematice ajutătoare ale teoriei invarianțelor sunt tratate în broșura autorului *Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie* (Joh. Ambr. Barth, 1916); această broșură presupune o cunoaștere aprofundată a teoriei speciale a relativității.

de eleganța expunerii. În această privință am ținut seama de sfatul teoreticianului de geniu L. Boltzmann, care spunea că eleganța trebuie lăsată în seama croitorilor și a cizmarilor. Nu cred că am ascuns cititorilor dificultățile ce țin de natura internă a problemei. Dimpotrivă, în mod intenționat am vitregit bazele fizice empirice ale teoriei, pentru ca cititorul neinițiat în fizică să nu fie împiedicat să vadă pădurea din cauza copacilor. Fie ca această mică lucrare să aducă cât mai multor oameni câteva ore plăcute de lectură stimulatoare!

Decembrie, 1916

Albert Einstein

Completare la ediția a treia

În acest an (1918) a apărut la editura Springer un excelent manual detaliat asupra teoriei generale a relativității pe care H. Weyl l-a editat sub titlul *Raum, Zeit, Materie*; îl recomandăm cu căldură matematicienilor și fizicienilor.

Partea întâi

DESPRE TEORIA SPECIALĂ
A RELATIVITĂȚII

§1. Conținutul fizic al propozițiilor geometrice

Nu încape nici o îndoială, iubite cititor, că, în tinerețe, ai cunoscut falnicul edificiu al geometriei euclidiene, iar amintirea acestei mărețe construcții, pe ale cărei trepte înalte ai fost purtat în nenumărate ore de studiu de profesori conștiincioși, îți inspiră mai mult respect decât plăcere; cu siguranță că această experiență din trecut te face să privești cu dispreț pe oricine ar îndrăzni să declare ca neadevărată chiar și cea mai neînsemnată propoziție a acestei științe. Dar acest sentiment de mândră certitudine te va părăsi de îndată ce vei fi întrebat: „Ce înțelegi prin afirmația că aceste propoziții sunt adevărate?” Iată o întrebare la care vrem să ne oprim puțin.

Geometria pornește de la anumite noțiuni fundamentale, cum sunt punctul, dreapta, planul, pe care suntem capabili să le corelăm cu reprezentări clare, și de la anumite propoziții simple (axiome), pe care suntem înclinați să le acceptăm ca „adevărate” pe baza acestor reprezentări. Toate celelalte

propoziții vor fi întemeiate, adică demonstrate pe baza unei metode logice, a cărei justificare suntem determinați s-o recunoaștem, pornind de la aceste axiome. O propoziție este corectă, respectiv „adevărată”, dacă poate fi dedusă din axiome în maniera recunoscută. Problema „adevărului” unor propoziții geometrice individuale conduce astfel înapoi la problema „adevărului” axiomelor. Se știe însă de multă vreme că această ultimă problemă nu este doar nerezolvabilă prin metodele geometriei; ea este, în general, fără sens. Nu ne putem întreba dacă este adevărat că prin două puncte poate trece numai *o singură* dreaptă. Putem doar spune că geometria euclidiană se ocupă cu figuri pe care ea le numește „drepte” și cărora le atribuie proprietatea de a fi determinate în întregime prin două puncte ce le aparțin. Conceptul de „adevăr” nu se potrivește enunțurilor geometriei pure, deoarece prin cuvântul „adevărat” desemnăm în ultimă instanță corespondența cu obiectele reale. Geometria însă nu se ocupă cu relația dintre conceptele ei și obiectele experienței, ci doar cu relațiile logice reciproce ale acestor concepte.

Este ușor însă de explicat de ce ne simțim totuși obligați să spunem că propozițiile geometriei sunt „adevărate”. Conceptelor geometrice le corespund mai mult sau mai puțin exact obiecte din natură, aceasta din urmă reprezentând singura cauză a generării lor. În încercarea de a conferi edificiiului ei o cât mai mare coeziune logică, geometria se îndepărtează de această origine. Obişnuința, de

exemplu, de a defini o dreaptă prin două puncte marcate pe un singur corp practic rigid este profund înrădăcinată în felul nostru de a gândi. La fel, suntem obișnuiți să considerăm că trei puncte se află pe o linie dreaptă dacă putem face să treacă o rază vizuală prin aceste trei puncte alegând în mod convenabil punctul de vizare.

Dacă, urmând modul nostru obișnuit de a gândi, adăugăm propozițiilor geometriei euclidiene o singură propoziție care afirmă că la două puncte ale unui corp practic rigid corespunde întotdeauna aceeași distanță (măsurată în linie dreaptă), indiferent de modificările aduse poziției corpului, atunci propozițiile geometriei euclidiene devin propoziții ce se raportează la diverse poziții relative pe care le pot ocupa corpurile practic rigide.* Geometria astfel completată poate fi considerată o ramură a fizicii. Acum avem îndreptățirea să ne întrebăm asupra „adevărului” propozițiilor geometrice astfel interpretabile, deoarece ne putem întreba dacă ele corespund acelor lucruri reale pe care le-am pus în corespondență cu conceptele geometrice. Ceva mai puțin precis am putea spune că prin „adevărul” unei propoziții geometrice înțelegem faptul că ea conduce la o construcție posibilă cu rigla și compasul.

* Prin aceasta i se pune în corespondență liniei drepte un obiect natural. Trei puncte ale unui corp rigid A, B, C se află pe o linie dreaptă atunci când, date fiind punctele A și C , punctul B este astfel ales, încât suma distanțelor AB și BC să fie cea mai mică cu putință. Această indicație incompletă poate fi aici considerată ca suficientă.

Convingerea asupra „adevărului” propozițiilor geometrice în acest sens se întemeiază în mod natural exclusiv pe o experiență relativ imperfectă. Vom presupune pentru început adevărul propozițiilor geometriei pentru ca apoi, în ultima parte a considerațiilor noastre (privind teoria generală a relativității), să vedem că aceste adevăruri nu sunt absolute și să le precizăm limitele.

§2. Sistemul de coordonate

Pe baza interpretării fizice a distanței pe care am indicat-o, suntem în măsură să stabilim prin măsurători distanța dintre două puncte ale unui corp rigid. Pentru aceasta avem nevoie de o linie (un etalon de măsură S) determinată o dată pentru totdeauna, care va fi folosită ca unitate de măsură. Dacă se dau două puncte A și B ale unui corp rigid, atunci linia dreaptă care le unește se poate construi după legile geometriei; apoi, pe această linie de legătură putem suprapune linia S pornind din A de atâtea ori până când se ajunge în B . Numărul repetărilor acestei suprapunerii va reprezenta măsura dreptei AB . Pe acest principiu se bazează orice măsurare a lungimii.*

Orice descriere spațială a poziției unui fenomen sau obiect se bazează pe faptul că se indică un

* Aceasta presupune că măsurarea dă un număr întreg. De această dificultate ne eliberăm prin utilizarea unor etaloane fracționare a căror introducere nu pretinde o metodă principal nouă.

CUPRINS

<i>Cuvânt înainte</i>	5
-----------------------------	---

Partea întâi

DESPRE TEORIA SPECIALĂ A RELATIVITĂȚII

1. Conținutul fizic al propozițiilor geometrice ..	9
2. Sistemul de coordonate	12
3. Spațiul și timpul în mecanica clasică	15
4. Sistemul de coordonate galilean	17
5. Principiul relativității (în sens restrâns)	18
6. Teorema compunerii vitezelor în mecanica clasică	21
7. Incompatibilitatea aparentă a legii propagării luminii cu principiul relativității	22
8. Noțiunea de timp în fizică	25
9. Relativitatea simultaneității	29
10. Despre relativitatea conceptului de distanță spațială	32
11. Transformarea Lorentz	33
12. Comportamentul riglelor și ceasornicelor în mișcare	38
13. Teorema de compunere a vitezelor. Experiența lui Fizeau	40

14. Valoarea euristică a teoriei relativității	44
15. Rezultatele generale ale teoriei	45
16. Teoria specială a relativității și experiența . .	50
17. Spațiul cvadridimensional al lui Minkowski . .	55

Partea a doua

DESPRE TEORIA GENERALĂ A RELATIVITĂȚII

18. Principiul special și cel general al relativității . .	61
19. Câmpul gravitațional	64
20. Identitatea maselor grea și inerțială ca argument pentru postulatul general al relativității	67
21. În ce măsură fundamentele mecanicii clasice și ale teoriei speciale a relativității sunt nesatisfăcătoare?	72
22. Unele consecințe ale principiului general al relativității	74
23. Comportamentul ceasornicelor și etaloanelor de lungime într-un sistem de referință în mișcare de rotație	78
24. Continuul euclidian și neeuclidian	82
25. Coordonate gaussiene	86
26. Continuul spațio-temporal al teoriei speciale a relativității — continuu euclidian	90
27. Continuul spațio-temporal al teoriei generale a relativității nu este un continuu euclidian . .	92
28. Formularea exactă a principiului general al relativității	95
29. Soluția problemei gravitației pe baza principiului general al relativității . .	98

Considerații asupra universului ca întreg	103
30. Dificultățile cosmologice ale teoriei newtoniene	103
31. Posibilitatea unui univers <i>finit</i> și totuși <i>nelimitat</i>	105
32. Structura spațiului conform teoriei generale a relativității	110