

50

DE IDEI

PE CARE TREBUIE SĂ LE CUNOȘTI

ȘTIINȚĂ

Paul Parsons și Gail Dixon



LITERA

București
2020

Introducere 3

- 01 Principiul lui Fermat 4
- 02 Legile lui Newton 8
- 03 Gravație newtoniană 12
- 04 Electromagnetism 16
- 05 Termodinamică 20
- 06 Relativitate specială 24
- 07 Relativitate generală 28
- 08 Mecanică cuantică 32
- 09 Câmpuri cuantice 36
- 10 Fizica particulelor 40
- 11 Energie nucleară 44
- 12 Teoria corzilor 48
- 13 Teoria informației 52
- 14 Teoria haosului 56
- 15 Calculatoare cuantice 60
- 16 Inteligență artificială 64
- 17 Atomi și molecule 68
- 18 Tabelul periodic 72
- 19 Radioactivitate 76
- 20 Semiconductori 80
- 21 Supraconductoare 84
- 22 Fullerene și nanotuburi 88
- 23 Nanotehnologie 92
- 24 Originea vieții 96
- 25 Fotosinteza 100
- 26 Celula 104
- 27 Teoria germenilor 108
- 28 Virusuri 112
- 29 Gene 116
- 30 Evoluție 120
- 31 Departe de Africa 124
- 32 Spirala dublă 128
- 33 Clonare și GM 132
- 34 Biologie sintetică 136
- 35 Conștiință 140
- 36 Limbaj 144
- 37 Ere glaciare 148
- 38 Tectonica plăcilor 152
- 39 Extincții în masă 156
- 40 Schimbări climatice 160
- 41 Sistemul Solar copernican 164
- 42 Galaxii 168
- 43 Big Bang 172
- 44 Materie întunecată 176
- 45 Energie întunecată 180
- 46 Moartea universului 184
- 47 Găuri negre 188
- 48 Multivers 192
- 49 Exoplanete 196
- 50 Viață extraterestră 200
- Glosar 204
- Indice 206

Albert Einstein a remarcat odată: „Cei mai buni oameni de știință sunt și artiști”. A fost un lucru îndrăzneț de spus pentru că știința poate părea un proces foarte necreativ. Constrânsă de date, fapte și dovezi, părea că există puțin loc pentru puterea ideilor și puterea creativității. Dar, de fapt, nimic nu putea fi mai departe de adevăr. Ideea lui Einstein era că mințile cu adevărat inovatoare în știință sunt și unele dintre cele mai creative. Iar ideile lor, mai degrabă decât abilitatea lor tehnică, au schimbat lumea.

Este adevărat că marea majoritate a cercetărilor științifice se bazează pe munca altora – știința, în general, este o evoluție progresivă în înțelegerea noastră. Dar, din când în când, un om de știință cu o uimitoare abilitate creativă prodigioasă apare în prim plan, iar perspectivele acestuia nu aduc evoluție, ci revoluție – adesea punându-și domeniul de activitate în cap și ducându-ne înțelegerea la un nivel complet nou. Să ne gândim, de exemplu, la Einstein și la eleganta lui teorie a relativității, la Darwin și la ideile lui radicale despre evoluție prin selecție naturală sau la îndrăzneala lui Richard Feynman de a re-imagina lumea particulelor subatomice.

Nu este vorba că acești oameni nu ar fi avut și niveluri mari de îndemânare tehnică – bineînțeles că aveau. Dar, fără acea scânteie de geniu creativ, nici o sumă de aptitudini matematice și nici cunoaștere a lumii naturale nu ar fi putut să provoace atât de multe transformări enorme în știință. Este o modalitate utilă de a le reaminti profesorilor că știința în școală nu ar trebui să se rezume la învățatul pe de rost și la trecerea testelor.

În capitolele ce urmează sunt prezentate 50 dintre cele mai mărețe idei pe care le-au descoperit oamenii de știință de-a lungul veacurilor. Alegerea subiectelor este destul de personală – fără îndoială, dacă altcineva ar fi scris această carte, cuprinsul ar arăta foarte diferit. Dar am încercat să păstrăm un echilibru bun și sperăm să le găsiți la fel de interesante pe cât le considerăm noi. Acolo unde spațiul o permite, am completat știința cu scurte biografii ale oamenilor de știință înșiși, detaliind originile și viețile lor personale. Este o călătorie fascinantă în realizările unora dintre cele mai creative minți din domeniul științei. Ne putem doar închipui ce idei noi și interesante se conturează în mintea și pe planșele de lucru ale oamenilor de știință de azi – și, într-adevăr, de-a lungul anilor care vor veni.

Principiul lui Fermat

La finele secolului al XVII-lea, matematicianul francez Pierre de Fermat a rezumat comportamentul razelor de lumină într-o singură și elegantă lege: lumina care călătorește între două puncte urmează cea mai rapidă cale posibilă. Ideea lui va deschide calea pentru un principiu și mai puternic, care se situează în centrul fizicii teoretice moderne.

Până în 1662, fizicienii știau de mult despre fenomenul de „refracție”, modul în care un fascicul de lumină se îndoaie brusc când traversează interfața dintre o substanță și alta. Un exemplu bun sunt aerul și apa: scufundați un creion într-un pahar cu apă și, când este privit dintr-o parte, creionul pare îndoit într-un unghi imposibil. Refracția are loc atunci când cele două substanțe care formează interfața au „densități optice” diferite, făcând ca lumina să se deplaseze cu viteze diferite în interiorul lor: unghiul prin care este îndoit fasciculul poate fi calculat prin unirea raportului dintre aceste viteze într-o formulă matematică numită legea lui Snell (vezi caseta). Ceea ce nu era atât de clar era de ce trebuia să fie așa.

Prima teoremă a lui Fermat Perspectiva lui Fermat era aceea de a propune ceea ce el a numit „principiul celui mai scurt timp”. În esență, lumina ar urma întotdeauna cea mai rapidă cale între două puncte. Această presupunere fundamentală, plus puțină matematică, a condus direct la legea lui Snell.

O analogie bună este cu un salvamar pe o plajă care încearcă să ajungă la un înotător în primejdie. Salvamarul este cumva de-a lungul plajei

cronologie

984 d.Hr.

Matematicianul arab Ibn Sahl publică prima versiune cunoscută a legii lui Snell

1622

Pierre de Fermat sugerează că razele de lumină urmează principiul celui mai scurt timp

1744

Matematicianul francez Pierre-Louis Maupertuis propune principiul minimeia acțiuni

față de înotător, ceea ce înseamnă că este necesară o combinație de alergare pe plajă și de înot prin apă. Întrebarea este: cât din fiecare? Întrebarea este: cât de mult?

Cea mai scurtă distanță dintre salvamar și înotător este doar o linie dreaptă care îi leagă pe cei doi, deci v-ați putea aștepta să fie și cea mai rapidă cale. Dar nu este, pentru că salvamarul poate alerga mult mai repede decât poate înota. A o lua în linie dreaptă ar însemna să petreacă mult prea mult timp înaintând încet prin apă. Nici a alerga de-a lungul plajei pentru a ajunge cât mai aproape cu puțință de înotător, înainte a intra în apă, nu este optim pentru că distanța totală parcursă este, pur și simplu, prea mare. Cea mai rapidă cale este un echilibru între cele două: alergare în diagonală pe plajă spre un punct atent calculat pe țărm, apoi întoarcere bruscă și îndreptare direct spre înotător prin apă – la fel ca o rază de lumină care este refractată.

Justificarea fizică pentru principiul lui Fermat provine din teoria ondulatorie a luminii, în special din fenomenul de interferență – modul în care două unde se combină într-una singură. Dacă vârfulurile uneia coincid cu minimele celeilalte, ele se vor anula – ceea ce se numește interferență distructivă. Pe de altă parte, dacă vârfulurile și minimele se aliniază, rezultatul este o undă foarte mare – interferență constructivă. Pentru aproape orice cale posibilă a razei de lumină va exista o alta care

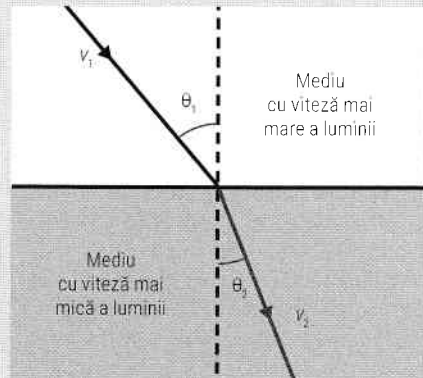
Legea lui Snell

Deși numită după matematicianul olandez Willebrord Snellius, prima relatare a ceea ce este cunoscut azi ca fiind legea lui Snell datează de mai bine de 600 de ani mai devreme, apărând în lucrarea matematicianului musulman Ibn Sahl.

Dată fiind o interfață între două medii, în care viteza luminii este v_1 și v_2 , atunci unghiurile respective, θ_1 și θ_2 , între fasciculele de lumină și o linie perpendiculară pe interfață, sunt date de formula

$$\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = v_1 / v_2$$

(unde \sin este funcția trigonometrică standard).



1788

Joseph-Louis Lagrange folosește principiul lui Maupertuis pentru a dezvolta dinamica lagrangiană

1915

Matematicianul german David Hilbert derivă relativitatea generală a lui Einstein dintr-o acțiune

1948

Fizicianul american Richard Feynman enunță formularea integrală a căii mecanicii cuantice

Dinamica lagrangiană

Analiza comportamentului sistemelor dinamice complexe a fost teribil de complicată până când matematicianul italian Joseph-Louis Lagrange a folosit principiul celei mai mici acțiuni pentru a propune ceea ce este cunoscut acum ca fiind dinamica lagrangiană.

El a oferit un mod sistematic de soluționare a problemelor care implică mișcarea mai multor obiecte sub acțiunea forțelor diferite – un bun exemplu fiind Soarele și numeroasele corpuri care orbitează în sistemul solar, toate mișcându-se ca răspuns la interacțiunile gravitaționale dintre ele.

Abordarea lui Lagrange a implicat stabilirea de coordonate pentru poziția și viteza fiecărui obiect. Aceasta i-a permis să scrie o formă generală pentru sistemul lagrangian – energia cinetică totală minus energia potențială a sistemului. Adunând acest lucru pe toate căile posibile prin spațiu și timp a rezultat o formulă pentru „acțiune” (vezi p. 7), pe care Lagrange a minimizat-o pentru a oferi o serie generalizată de ecuații care descriu mișcarea fiecărui obiect.

În cazul sistemului solar, vitezele relative ale Soarelui și ale planetelor au implicat energia cinetică totală, în timp ce poziția fiecărui obiect în raport cu toate celelalte a dat energia totală potențială, care, în acest caz, este furnizată de gravitație. Ecuațiile de mișcare rezultate descriu orbitele planetelor în jurul Soarelui.

intervine în mod distructiv ca să o anuleze. Excepția este singura cale care minimizează timpul de călătorie, motiv pentru care aceasta este calea pe care o vedem că o urmează raza de lumină. Principiul lui Fermat a explicat și legile care guvernează modul în care se reflectă lumina la interfața dintre două medii, inclusiv fenomenul „reflexiei interne totale”, în care un fascicul de lumină într-un mediu dens nu poate să scape atunci când atinge suprafața într-un unghi superficial. Această idee este esențială pentru modul în care funcționează cablurile de fibră optică.

Dar aveau să apară evoluții cu mult mai importante. În 1744, alt matematician francez, Pierre-Louis Maupertuis, se întreba dacă principiul lui Fermat putea fi extins pentru a explica nu doar comportamentul razelor de lumină, ci și dinamica obiectelor aflate în mișcare. El a înlocuit timpul în raționamentul lui Fermat cu energia cinetică a unui obiect adăugat pe traiectoria particulară pe care acesta călătorește. Apoi, a postulat că traiectoria pe care o urmează, de fapt, obiectul este cea pentru care această cantitate este minimizată.

Acțiunile vorbesc cel mai bine Mai târziu în acel secol, ideea a fost rafinată de matematicianul italian Joseph-Louis Lagrange și de fizicianul irlandez William Rowan Hamilton. Ei au modificat teorema lui Maupertuis pentru a rezuma nu numai

energia cinetică a unui obiect în mișcare, ci și energia cinetică, minus energia sa stocată sau „potențială”. (De exemplu, o piatră aruncată de o catapultă va începe cu o energie cinetică zero, dar cu o energie

potențială mare stocată în cauciucul întins.) Lagrange și Hamilton au susținut că această nouă cantitate adunată, cunoscută sub numele de „acțiune”, este minimizată de-a lungul căii pe care o traversează efectiv obiectul. Abordarea lor simplă a condus cu ușurință la legile mișcării corpurilor ale lui Newton (vezi p. 8) și a devenit cunoscută sub numele de „principiul minimei acțiuni”.

Curând a devenit clar că și alte teorii din fizică puteau fi derivate prin minimizarea unei acțiuni, inclusiv electromagnetismul și relativitatea generală (vezi pp. 16 și 28). Principiul a fost deosebit de puternic atunci când a fost vorba de combinarea teoriilor.

De exemplu, calcularea comportamentului unui corp în prezența atât a forțelor electromagnetice, cât și a celor gravitaționale implică însumarea acțiunilor pentru ambele teorii și apoi găsirea căii care minimizează această acțiune nouă, combinată.

În anii 1940, fizicianul american Richard Feynman a exploatat principiul minimei acțiuni pentru a-și construi formularea „integrală a căii” teoriei câmpului cuantic (vezi p. 36). În acest caz, distribuția probabilității pentru starea unei particule într-un anumit moment în viitor este dată de însumarea contribuțiilor pe orice cale posibilă, ponderată de probabilitatea ca acea cale să fie urmată. Edwin Jaynes, fizician american din secolul XX, a sugerat chiar că există legături profunde între fizică și teoria informației (vezi p. 52).

Principiul lui Fermat și principiul minimei acțiuni rămân unele dintre cele mai puternice instrumente în fizică și se găsesc acum în inima încercărilor de a unifica forțele naturii (vezi p. 48) și de a explica originile universului nostru (vezi p. 172).

„Natura este cumpătată în toate acțiunile ei.”

Pierre-Louis Maupertuis

Idee principală
Fasciculele de lumină urmează
calea cea mai rapidă

Legile lui Newton

În 1687, Isaac Newton a publicat o carte despre care se consideră, în general, că reprezintă nașterea fizicii matematice moderne. În inima revoluției lui se plasau trei principii care încapsulau modul în care obiectele se comportă sub influența forțelor. Aceste legi vor domina fizica mișcării până în secolul XX.

Vreme de sute de ani, cele trei legi ale mișcării aparținând lui Newton au oferit cea mai bună descriere a modului în care obiectele de zi cu zi se mișcă și interacționează – ramura fizicii cunoscută sub numele de „mecanică”. Ele au fost publicate, după numeroase cercetări experimentale și teoretice, în 1687, ca parte a cărții lui *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (*Principiile matematice ale filosofiei naturale*), mai bine cunoscută, pur și simplu, ca *Principia*. Înainte de această perioadă, mecanica fusese dominată de teoriile filosofului grec Aristotel – pe care știința experimentală în plin avânt din secolul al XVII-lea le dovedise deja a fi profund eronate. Nu doar că versiunea de mecanică a lui Newton a fost prima exprimată în termeni de ecuații matematice riguroase, dar răspunsurile pe care le dădeau ecuațiile erau exacte.

Prima lege a lui Newton spune că un corp va rămâne în starea actuală de repaus sau de mișcare uniformă dacă asupra lui nu va acționa o forță (inițial, o idee propusă de matematicianul și astronomul italian Galileo Galilei, în 1632). În esență, un obiect staționar va rămâne staționar și un obiect care se mișcă deja va continua să se miște cu aceeași viteză și în aceeași direcție, exceptând cazul în care se aplică o forță exterioară. V-ați putea întreba atunci de ce, dacă scăpați această carte, ea cade pe pământ, dar aceasta se întâmplă deoarece gravitația exercită o forță descendentă constantă. În afara câmpurilor gravitaționale sau

cronologie

sec. IV î.Hr.

Filosoful grec Aristotel formulează ideile despre comportamentul obiectelor aflate în mișcare

1021

Filosoful persan Al-Biruni propune conceptul de accelerație ca modificare de viteză

1632

Astronomul italian Galileo își publică ideile despre conceptul de inerție

în situații de „gravitație zero” efectivă, precum orbita Pământului, obiectele chiar plutesc în spațiu atunci când sunt eliberate din starea de repaus, la fel cum a prezis Newton.

Linia de forță A doua lege cuantifică modul în care se schimbă exact mișcarea unui obiect atunci când asupra lui acționează o forță. Newton a afirmat că obiectul accelerează în aceeași direcție cu forța și cu o viteză care satisface forța ecuației matematice = accelerația de masă x . Acest lucru înseamnă că obiectele mai ușoare vor accelera mai repede decât cele mai grele sub acțiunea aceleiași forțe: înjumătățiți masa unui obiect și acesta va accelera de două ori mai repede.

Rezistența la mișcare a obiectelor masive se numește „inerție”. Vă puteți gândi la aceasta în termenii primei legi. Un corp continuă în starea sa de repaus sau de mișcare uniformă dacă nu acționează asupra lui o forță, iar inerția corpului – guvernată de masa sa – este cea care determină exact cât de mult este perturbată această stare de repaus sau de mișcare uniformă atunci când acționează forța.

A treia lege a lui Newton se referă la modul în care interacționează obiectele. Afirmă că pentru fiecare acțiune există

Isaac Newton (1643–1727)

Isaac Newton s-a născut la Woolsthorpe, un sătuc din comitatul englez Lincolnshire. În 1661, a intrat la Trinity College, Cambridge. A obținut diploma de licență în 1665, înainte de a se retrage la Woolsthorpe pentru doi ani ca să evite Marea Ciumă din acel an. Se spune că în această perioadă de izolare impusă a elaborat câteva dintre cele mai importante idei ale sale.

După ce s-a întors la Cambridge în 1667, Newton a fost ales ca membru al Trinity College. Doi ani mai târziu, la doar 26 de ani, devine profesor lucasian de matematică.

În timpul carierei lui remarcabile, Newton a adus contribuții semnificative nu doar în fizica mișcării, dar și în gravitație, optică, fluide, fizică termică și matematică. A construit primul telescop reflector din lume și este chiar creditat de unii cu inventarea ușii pentru pisici. În 1703, devine președinte al Societății Regale, cea mai veche societate științifică din lume, iar în 1705 a fost făcut cavaler.

Newton nu s-a căsătorit niciodată și este celebru pentru că și-a făcut nenumărați dușmani, adesea în legătură cu prioritatea descoperirilor științifice. În ultima perioadă a vieții, a lucrat ca funcționar și director al Monetăriei Regale, unde s-a mândrit că a trimis zeci de falsificatori la spânzurațoare. A murit în somn pe 31 martie 1727. Moartea a fost înregistrată ca fiind provocată de „cauze naturale”, deși este posibil să fi contribuit și otrăvirea cu mercur din timpul nenumăratelor experimente alchimice.

1687

Isaac Newton publică cele trei legi ale mișcării în cartea lui, *Principia*

1750

Matematicianul elvețian Leonhard Euler extinde legile lui Newton la corpurile rigide

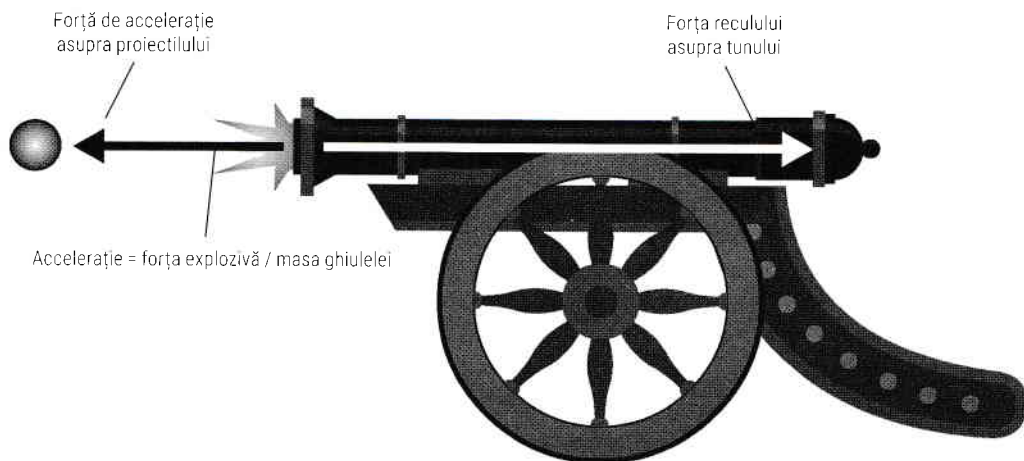
1905

Relativitatea specială a lui Einstein marchează prima îndepărtare majoră de legile lui Newton

o reacție egală și opusă. Astfel că, atunci când stai pe un scaun, greutatea ta, care apasă în jos, sub acțiunea gravitației, este echilibrată de o forță egală și opusă care împinge în sus dinspre scaun. Sursa acestei „reacții normale”, așa cum este cunoscută de fizicieni, este rețeaua de legături chimice dintre atomii și moleculele din care este făcut scaunul. Desigur, nu există nici o garanție că această infrastructură chimică va fi capabilă să realizeze această sarcină – dacă ești prea greu, scaunul se va rupe și reacția normală va dispărea.

Recul dezvăluit A treia lege a lui Newton este cea care explică de ce o pușcă te lovește în umăr atunci când tragi. Apăsarea trăgaciului eliberează perculatorul, aprinzând pulbera din cartuș. Gazele care se eliberează propulsează glonțul înainte, dar, grație celei de-a treia legi a lui Newton, există o forță egală și opusă care împinge pușca înapoi spre tine. De altfel, putem invoca și a doua lege a lui Newton aici – forța = masa \times accelerația – pentru a explica de ce glonțul accelerează mult mai repede decât corpul mult mai greu al armei.

Strict vorbind, legile lui Newton se aplică numai obiectelor ale căror mase sunt concentrate într-un singur punct în spațiu. Ele sunt o idealizare teoretică prin care calculele devin mai ușoare, dar nu pot oferi imaginea completă. În preajma anului 1750, prolificul matematician elvețian



Leonhard Euler a extins tratamentul lui Newton pentru a include obiecte rigide de mărime non-zero. El a descoperit că dacă se ia în considerare că masa obiectului este concentrată în centrul său de gravitație, atunci legile lui Newton continuă să se aplice. Totuși, a descoperit și legi suplimentare care reglează modul în care se rotește obiectul – pe baza forțelor de rotație, sau „cupluri”, aplicate obiectului și distribuției precise a masei sale în jurul centrului de gravitație. Ecuatiile Newton-Euler rezultate oferă o descriere exactă a obiectelor din lumea reală.

Mergând mai departe Se va dovedi mai târziu că nici măcar aceste legi nu oferă perspectiva completă în cazurile extreme. În 1905, Albert Einstein și-a prezentat teoria relativității speciale (vezi p. 24), în care comportamentul obiectelor care se mișcă aproape cu viteza luminii diferă semnificativ de predicțiile lui Newton. Mai târziu, teoria generală a relativității lui Einstein (vezi p. 28) a condus la alte discrepanțe în prezența câmpurilor gravitaționale puternice. Între timp, în anii 1920, a devenit limpede că, la scara particulelor subatomice ale materiei, viziunea deterministă ordonată a fizicii newtoniene este înlocuită de caracterul aleatoriu al mecanicii cuantice (vezi p. 32). Totuși, legile mișcării lui Newton rămân o aproximare excelentă la scară de viteză și de lungime, precum și a gravitației ambientale a lumii noastre cotidiene. În acest regim, ele au fost verificate de secole de studiu experimental și descriu cu exactitate mișcarea a orice, de la bilele de biliard care se ciocnesc până la planetele care orbitează Soarele.

Natura și legile Naturii stăteau ascunse în noaptea: Dumnezeu a spus «Să fie Newton!» – și totul a fost lumină.

Alexander Pope (1727)

Idee principală
Corpurile în mișcare respectă
trei reguli matematice