

Nicolae Sfetcu

FIZICA FENOMENOLOGICĂ
COMPENDIU

Volumul 2

MultiMedia Publishing

Nicolae Sfetcu

FIZICA FENOMENOLOGICĂ

COMPENDIU

Volumul 2

PREVIZUALIZARE CARTE

MultiMedia Publishing

Drobeta Turnu Severin, 2019

Nicio parte a acestei cărți nu poate fi reprodusă sau stocată într-un sistem electronic sau transmisă sub nicio formă sau prin orice mijloace electronice, mecanice, prin fotocopiere, prin înregistrare sau prin alte mijloace, fără permisiunea expresă scrisă a autorului.

Publicat de MultiMedia Publishing, Drobeta Turnu Severin, 2019, www.setthings.com/editura

Prima ediție

DECLINARE DE RESPONSABILITATE: Având în vedere posibilitatea existenței erorii umane sau modificării conceptelor științifice, nici autorul, nici editorul și nicio altă parte implicată în pregătirea sau publicarea lucrării curente nu pot garanta în totalitate că toate aspectele sunt corecte, complete sau actuale, și își declină orice responsabilitate pentru orice eroare ori omisiune sau pentru rezultatele obținute din folosirea informațiilor conținute de această lucrare.

Cu excepția cazurilor specificate în această carte, nici autorul sau editorul, nici alți autori, contribuabili sau alți reprezentanți nu vor fi răspunzători pentru daunele rezultate din sau în legătură cu utilizarea acestei cărți. Aceasta este o declinare cuprinzătoare a răspunderii care se aplică tuturor daunelor de orice fel, incluzând (fără limitare) compensatorii; daune directe, indirecte sau consecvente, inclusiv pentru terțe părți.

Înțelegeți că această carte nu intenționează să înlocuiască consultarea cu un profesionist educațional, juridic sau financiar licențiat. Înainte de a o utiliza în orice mod, vă recomandăm să consultați un profesionist licențiat pentru a vă asigura că faceți ceea ce este mai bine pentru dvs.

Această carte oferă conținut referitor la subiecte educaționale. Utilizarea ei implică acceptarea acestei declinări de responsabilitate.

Volumul 1:

1 Știința

- 1.1 Măsurători științifice
 - 1.1.1 Analiza dimensională
- 1.2 Matematica
- 1.3 Metode științifice
 - 1.3.1 Investigații științifice
 - 1.3.2 Elementele metodelor științifice idealizate
 - 1.3.3 Aspecte ale metodelor științifice
 - 1.3.4 Alte aspecte ale metodelor științifice
- 1.4 Teorii științifice
- 1.5 Atitudinea științifică
- 1.6 Filosofia științei
- 1.7 Știința și tehnologia
- 1.8 Știința și arta
- 1.9 Știința și religia
- 1.10 Pseudoștiința
- Metodologie științifică

2 Fizica

- Cercetarea în fizică
- Domenii de aplicare și obiective
- Ramuri ale fizicii
- 2.1 Filosofia fizicii
 - 2.1.1 Filosofia spațiului și timpului

3 Mecanica

- 3.1 Prima lege de mișcare a lui Newton - Inerția
 - 3.1.1 Aristotel despre mișcare
 - 3.1.2 Sistemul heliocentric
 - 3.1.3 Galileo și turnul înclinat
 - 3.1.4 Experimentele lui Galileo Galilei cu planul înclinat
 - 3.1.5 Prima lege de mișcare a lui Newton
 - 3.1.6 Forța netă
- 3.2 Mișcarea liniară
 - 3.2.1 Mișcarea este relativă (Invarianța galileană)
 - 3.2.2 Dimensiuni
 - 3.2.3 Viteza
 - 3.2.3.1 Viteza instantanee
 - 3.2.3.2 Viteza medie
 - 3.2.4 Viteza vectorială
 - 3.2.4.1 Viteza vectorială variabilă
 - 3.2.5 Accelerația
 - 3.2.6 Căderea liberă
 - 3.2.6.1 Ecuațiile căderii libere
- 3.3 A doua lege a lui Newton
 - 3.3.1 Forța determină accelerația (Forța)
 - 3.3.2 Frecarea
 - 3.3.3 Masa și greutatea
 - 3.3.3.1 Masa se opune accelerației (Masa și inerția)
 - 3.3.4 A doua lege de mișcare a lui Newton
- 3.4 A treia lege de mișcare a lui Newton
 - 3.4.1 Forțe și interacțiuni
 - 3.4.2 A treia lege de mișcare a lui Newton (Acțiunea și reacția)
 - 3.4.3 Acțiunea și reacțiunea
 - 3.4.4 Sumarul celor trei legi ale lui Newton (Legile mișcării ale lui Newton)
 - 3.4.5 Statica

- 3.4.6 Dinamica
- 3.5 Impuls
- 3.5.1 Impulsul newtonian
- 3.5.2 Variația de impuls
- 3.5.3 Conservarea impulsului
- 3.5.4 Coliziuni
- 3.5.4.1 Coliziunea inelastică
- 3.6 Energia
- 3.6.1 Lucru mecanic
- 3.6.2 Puterea
- 3.6.3 Energia mecanică
- 3.6.4 Energia potențială
- 3.6.5 Energia cinetică
- 3.6.6 Lucrul mecanic și energia - Principiul lucru mecanic-energie
- 3.6.7 Conservarea energiei
- 3.6.8 Mașini
- 3.6.9 Eficiența conversiei energiei
- 3.6.10 Surse de energie
- 3.7 Mișcarea de rotație
- 3.7.1 Mișcarea circulară
- 3.7.2 Inerția rotațională (Momentul de inerție)
- 3.7.3 Cuplul (Momentul forței)
- 3.7.4 Centrul de masă și centrul de greutate
- 3.7.5 Echilibru mecanic - Stabilitatea
- 3.7.6 Forța centripetă
- 3.7.7 Forța centrifugă
- 3.7.7.1 Forța centrifugă în cadru de referință în rotație
- 3.7.8 Gravitația artificială
- 3.7.9 Momentul unghiular
- 3.7.9.1 Conservarea momentului unghiular
- 3.8 Gravitația
- 3.8.1 Legea universală a gravitației
- 3.8.1.1 Constanta gravitațională universală, G
- 3.8.1.2 Legea inversului pătratului în gravitație
- 3.8.1.3 Greutatea și imponderabilitatea
- 3.8.2 Maree
- 3.8.2.1 Mareele oceanelor
- 3.8.2.2 Mareea Pământului
- 3.8.2.3 Mareea atmosferei Pământului
- 3.8.2.4 Mareele lunare
- 3.8.3 Câmpul gravitațional
- 3.8.3.1 Gravitația în interiorul unei planete (Teorema carcasei)
- 3.8.3.2 Tesla și Teoria dinamică a gravitației
- 3.8.3.3 Teoria gravitației lui Einstein
- 3.8.3.4 Găuri negre
- 3.8.3.5 Gravitația universală (Gravitația în Univers)
- 3.8.3.4 Anti-gravitația
- 3.9 Mișcarea proiectilelor și sateliților (Balistica)
- 3.9.1 Mișcarea proiectilelor
- 3.9.2 Proiectile lansate orizontal
- 3.9.3 Proiectile lansate sub un anumit unghi
- 3.9.4 Sateliți artificiali
- - - - Lansarea pe orbită
- 3.9.5 Orbite circulare ale sateliților
- 3.9.6 Orbite eliptice
- 3.9.7 Legile lui Kepler
- 3.9.8 Energia sateliților

- 3.9.9 Viteza de scăpare
- 4 Materia
 - 4.1 Natura atomică a materiei
 - 4.1.1 Ipoteze atomice
 - 4.1.2 Proprietățile atomilor
 - 4.1.3 Imagistica atomică
 - 4.1.4 Structura atomului
 - 4.1.5 Elemente (Elemente chimice)
 - 4.1.6 Tabelul periodic al elementelor
 - 4.1.7 Izotopi (Variații, ocurența, aplicații)
 - 4.1.8 Compuși și amestecuri
 - 4.1.9 Molecule
 - 4.1.10 Antimateria
 - 4.1.11 Materia întunecată
 - 4.2 Solide
 - 4.2.1 Micrograful lui Muller (Microscopia cu ioni în câmp)
 - 4.2.2 Structura cristalelor
 - 4.2.3 Densitatea solidelor
 - 4.2.4 Elasticitatea
 - 4.2.5 Tensiunea și comprimarea (Rezistența materialelor)
 - 4.3 Lichide
 - 4.3.1 Presiunea
 - 4.3.1.1 Presiunea în lichid
 - 4.3.2 Flotabilitatea
 - 4.3.3 Principiul lui Arhimede
 - 4.3.4 Forțe în cazurile scufundării și plutirii
 - 4.3.5 Flotarea (Principiul flotării)
 - 4.3.6 Principiul lui Pascal
 - 4.3.7 Tensiunea superficială
 - 4.3.8 Capilaritatea
 - 4.4 Gaze
 - 4.4.1 Atmosfera
 - 4.4.1.1 Presiunea atmosferică
 - 4.4.2 Barometru
 - 4.4.3 Legea lui Boyle
 - Sistemul respirator uman
 - 4.4.4 Flotabilitatea în aer (Aerostate)
 - Baloane
 - 4.4.5 Principiul lui Bernoulli
 - 4.4.6 Aplicații
 - 4.4.7 Efectul Coandă
 - 4.5 Plasma
 - 4.5.1 Plasma în natură, artificială și aplicații
- 5 Căldura
 - 5.1 Temperatura, căldura și expansiunea
 - 5.1.1 Temperatura
 - 5.1.1.1 Temperaturi negative
 - 5.1.2 Căldura
 - 5.1.3 Măsurarea căldurii (Măsurarea temperaturii)
 - 5.1.4 Capacitatea calorică specifică (Capacitatea calorică)
 - 5.1.5 Dilatarea termică
 - 5.2 Transferul de căldură
 - 5.2.1 Conducția termică
 - 5.2.2 Convecția
 - 5.2.3 Radiația termică
 - 5.2.4 Emisia de energie radiantă (Emisivitatea)
 - 5.2.5 Absorbția energiei radiante

- 5.2.6 Reflexia energiei radiante (Reflectanța)
- 5.2.7 Răcirea radiativă
- 5.2.8 Legea de răcire a lui Newton
- 5.2.9 Energia solară - Celule solare
- Celule fotovoltaice
- 5.2.10 Transferul termic
- Schimbătoare de căldură
- 5.3 Schimbări climatice
- 5.3.1 Cauze
- 5.3.2 Evidențe fizice
- 5.3.3 Efectul de seră
- 5.3.4 Încălzirea globală
- 5.3.5 Efecte observate și așteptate asupra mediului
- 5.3.6 Efectele asupra sistemelor sociale
- 5.4 Schimbarea de fază
- 5.4.1 Evaporarea
- 5.4.2 Condensarea
- 5.4.2.1 Ceața
- 5.4.2.2 Nori
- 5.4.3 Fierberea
- 5.4.4 Înghețarea/Solidificarea
- 5.4.5 Topirea
- 5.4.6 Energia și schimbările de fază (Căldura latentă)
- 5.5 Termodinamica
- 5.5.1 Concepte în termodinamică
- 5.5.2 Zero absolut
- Temperaturi negative
- 5.5.3 Energia internă
- 5.5.4 Prima lege a termodinamicii
- 5.5.5 Procese adiabatice
- 5.5.6 Meteorologia (Fizica norilor)
- 5.5.7 A doua lege a termodinamicii
- Principiul lui Carnot
- 5.5.8 Motoare termice
- 5.5.9 Tendința de la ordine la dezordine (Ordinea și dezordinea)
- 5.5.10 Entropia
- 6 Sunetul
- 6.1 Vibrații și unde
- 6.1.1 Pendul
- 6.1.2 Descrierea undelor
- 6.1.3 Mișcarea undelor (Unde mecanice)
- Polarizarea
- 6.1.4 Viteza undelor
- 6.1.5 Unde transversale
- Undele electromagnetice
- 6.1.6 Unde longitudinale
- Unde sonore
- Unde de presiune
- 6.1.7 Interferența undelor
- 6.1.8 Unde staționare
- 6.1.9 Efectul Doppler
- 6.1.10 Unde de șoc
- 6.2 Acustica
- 6.2.1 Cum se generează sunetele
- 6.2.2 Natura sunetului în aer
- 6.2.3 Media care transmite sunetele (Fizica sunetelor)
- 6.2.4 Viteza sunetului în aer (Viteza sunetului)

- 6.2.5 Reflexia sunetului - Ecoul
- 6.2.6 Refracția sunetului
- 6.2.7 Energia în undele sonore
- 6.2.8 Vibrații forțate - Oscilații
- 6.2.9 Rezonanța
- 6.2.10 Bătăi
- 6.3 Sunete muzicale
 - 6.3.1 Înălțimea sunetelor
 - 6.3.2 Intensitatea și volumul sunetelor
 - 6.3.3 Calitatea sunetului
 - 6.3.4 Instrumente muzicale
 - 6.3.5 Analiza Fourier
 - 6.3.6 Disc compact (CD)
- 7 Electricitate și magnetism
 - 7.1 Electricitatea
 - 7.1.1 Forțe electrice
 - 7.1.2 Sarcini electrice
 - 7.1.3 Conservarea sarcinii
 - 7.1.4 Legea lui Coulomb
 - 7.1.5 Conductori și izolatori (Rezistența electrică și conductanța electrică)
 - 7.1.6 Semiconductori
 - 7.1.7 Superconductori (Superconductivitatea)
 - 7.1.8 Electricitatea statică
 - 7.1.8.1 Încărcarea electrică prin frecare și contact
 - Efectul triboelectric
 - 7.1.8.2 Încărcarea electrică prin inducție
 - 7.1.9 Polarizarea sarcinilor (Dielectrici)
 - Condensatori
 - 7.1.10 Câmpul electric
 - 7.1.11 Ecranarea electromagnetică
 - 7.1.12 Potențialul electric
 - 7.1.13 Stocarea energiei electrice
 - 7.1.14 Generator Van de Graaff
 - 7.2 Curent electric
 - 7.2.1 Circulația sarcinilor electrice
 - 7.2.2 Curentul electric (Convenții)
 - 7.2.3 Surse de tensiune
 - 7.2.4 Rezistența electrică (Rezistența electrică și conductanța)
 - 7.2.5 Legea lui Ohm
 - 7.2.6 Curent continuu și curent alternativ
 - 7.2.7 Conversia de la curent alternativ la curent continuu (Redresoare)
 - 7.2.8 Electroni într-un circuit electric
 - 7.2.9 Puterea electrică
 - Curent alternativ
 - Câmpuri electromagnetice
 - 7.2.10 Circuite electrice
 - 7.2.10.1 Circuite serie
 - 7.2.10.2 Circuite paralel
 - 7.3 Magnetism
 - 7.3.1 Forțe magnetice
 - 7.3.2 Poli magnetici
 - Polul geomagnetic
 - Dipoli magnetici
 - 7.3.3 Câmpuri magnetice
 - 7.3.4 Domenii magnetice
 - 7.3.5 Curenți electrici și câmpuri magnetice (Legea Biot–Savart și Legea lui Ampère)
 - 7.3.6 Electromagneți

- 7.3.6.1 Electromagneți supraconductori
- 7.3.7 Forța Lorentz și forța Laplace
- 7.3.8 Forța asupra conductoarelor electrice în câmp magnetic (Forța Laplace)
- 7.3.9 Contoare electrice
- 7.3.10 Motoare electrice
- 7.3.11 Câmpul magnetic al Pământului
- 7.3.12 Radiații cosmice
- 7.4 Inducția electromagnetică
- 7.4.1 Electromagnetism
- 7.4.2 Inducția electromagnetică (Aplicații)
- 7.4.3 Legea lui Faraday (a inducției)
- 7.4.4 Generatoare de curent alternativ (Alternatoare)
- 7.4.5 Centrale electrice (Generarea electricității)
- 7.4.5.1 Hidrocentralele Porțile de Fier
- 7.4.6 Turbogeneratoare
- 7.4.7 Generatoare magnetohidrodinamice
- 7.4.8 Transformatoare
- 7.4.10 Transmisia energiei electrice
- 7.4.11 Câmpul electromagnetic

Volumul 2:

8 Lumina

- 8.1 Proprietățile luminii
- 8.1.1 Unde electromagnetice
- 8.1.1.1 Viteza undelor electromagnetice
- 8.1.2 Spectrul electromagnetic
- 8.1.3 Materiale transparente
- 8.1.4 Materiale opace (Opacitatea)
- 8.1.5 Umbra
- 8.1.6 Sistemul vizual uman (Ochiul)
- 8.1.7 De ce este apusul de Soare roșu?
- 8.1.8 De ce sunt norii colorați?
- 8.1.9 Ce culoare are apa?
- 8.2 Culori
- 8.2.1 Reflexia selectivă (Culoarea unui obiect)
- 8.2.2 Transmiterea selectivă (Transparența și translučența)
- 8.2.3 Amestecul luminii colorate (Amestecul culorilor)
- 8.2.4 Culori complementare
- 8.2.5 Amestecul pigmentilor colorați (Pigmenți)
- 8.2.6 De ce e cerul albastru?
- 8.3 Reflexia și refracția (Optica geometrică)
- 8.3.1 Reflexia
- 8.3.2 Principiul timpului cel mai scurt (Principiul lui Fermat)
- 8.3.3 Legea reflexiei
- 8.3.4 Oglinzi plane (Oglinzi)
- 8.3.5 Reflexia difuză
- 8.3.6 Refracția
- 8.3.7 Mirajul
- 8.3.8 Dispersia
- 8.3.9 Curcubeul
- 8.3.10 Reflexia internă totală
- 8.3.11 Lentile
- 8.3.11.1 Formarea imaginilor prin lentile
- 8.3.11.2 Defecte ale lentilelor
- 8.4 Undele luminoase (Optica fizică)
- 8.4.1 Principiul Huygens–Fresnel

- 8.4.2 Difracția luminii
- 8.4.3 Interferența optică
- 8.4.4 Interferența pe straturi subțiri
- 8.4.5 Polarizarea
- 8.4.6 Vederea tridimensională (Percepția în adâncime)
- 8.4.7 Holografia
- 8.5 Emisia luminii (Surse de lumină)
- 8.5.1 Excitarea (Stări excitate)
- 8.5.2 Spectrul de emisie al luminii
- 8.5.3 Incandescența
- 8.5.4 Spectrul de absorbție (Spectroscopia de absorbție)
- 8.5.5 Fluorescența
- 8.5.6 Lămpi fluorescente
- 8.5.7 Fosforescența
- 8.5.8 LED
- 8.5.9 Lămpi cu LED
- 8.5.10 Laser
- 8.5.11 Extreme Light Infrastructure (ELI)
- 8.6 Cuanta de lumină (Fotoni)
- 8.6.1 Nașterea teoriei cuantice (Optica cuantică)
- 8.6.2 Cuantificarea și constanta lui Planck
- 8.6.3 Efectul fotoelectric
- 8.6.4 Dualitatea undă-particulă
- 8.6.5 Experimentul celor două fante
- 8.6.6 Difracția electronilor
- 8.6.7 Principiul incertitudinii
- 8.6.8 Complementaritatea
- 9 Fizica atomică și nucleară
- 9.1 Atomul și cuanta
- 9.1.1 Descoperirea nucleului atomic
- 9.1.2 Descoperirea electronului
- 9.1.3 Spectroscopia atomică - Linii spectrale
- 9.1.4 Modelul Bohr al atomului
- 9.1.5 Mărirea relativă a atomilor (Raza atomilor)
- 9.1.6 Nivele energetice cuantificate: Undele electronilor
- 9.1.7 Mecanica cuantică
- 9.1.8 Principiul corespondenței
- 9.2 Nucleul atomic și radioactivitatea
- 9.2.1 Razele X
- 9.2.2 Radiații alfa, beta și gama
- 9.2.3 Nucleul atomic
- 9.2.4 Forțe nucleare
- 9.2.5 Izotopi
- 9.2.6 De ce sunt radioactivi atomii? (Dezintegrarea radioactivă)
- 9.2.7 Timpul de înjumătățire (Dezintegrarea radioactivă)
- 9.2.8 Detectoare de radiații (Detectoare de particule)
- 9.2.9 Transmutarea elementelor (Transmutarea nucleară)
- 9.2.10 Transmutarea naturală (Transmutarea în univers)
- 9.2.11 Transmutarea artificială (Transmutarea artificială a deșeurilor nucleare)
- 9.2.12 Izotopi radioactivi (Radionuclizi)
- 9.2.13 Datarea radiometrică
- 9.2.14 Datarea cu carbon (Datarea cu radiocarbon)
- 9.2.15 Datarea cu uraniu
- 9.2.16 Efectele radiațiilor asupra oamenilor
- 9.2.17 Dozarea radiațiilor
- 9.3 Fizica particulelor
- 9.3.1 Particule elementare (Modelul Standard)

- 9.3.2 Extensii ale Modelului Standard
- 9.3.3 Protoni
- 9.3.4 Neutroni
- 9.3.5 Electroni
- 9.3.6 Cuarci
- 9.3.7 Fotoni
- 9.3.8 Gluoni
- 9.3.9 Bosoni W și Z
- 9.3.10 Neutrini
- 9.3.11 Fizica acceleratorilor
- 9.4 Fisiunea și fuziunea nucleară
- 9.4.1 Fisiunea nucleară
- 9.4.2 Reactoare de fisiune nucleară (Reactoare nucleare)
- 9.4.3 Reactoare nucleare cu apă grea presurizată - CANDU
- Reactorul CANDU
- Centrala Nucleară de la Cernavodă
- 9.4.4 Plutoniu
- 9.4.5 Reactoare nucleare reproducătoare
- 9.4.6 Energia de fisiune (Energia nucleară)
- Centrale nucleare
- Energia nucleară în România
- 9.4.7 Echivalența masă-energie în reacțiile nucleare
- 9.4.8 Fuziunea nucleară
- 9.4.9 Controlul fuziunii (Energia de fuziune)
- 10 Relativitatea
- 10.1 Teoria specială a relativității
- 10.1.1 Cadre de referință, coordonate și transformarea Lorentz
- 10.1.2 Experimentul Michelson-Morley pentru confirmarea eterului
- 10.1.3 Postulatele teoriei speciale a relativității
- 10.1.4 Simultanitatea (Relativitatea simultaneității)
- 10.1.5 Spațiu-timp
- 10.1.6 Dilatarea timpului
- 10.1.7 Paradoxul gemenilor
- 10.1.8 Însursumarea vitezelor
- 10.1.9 Călătoriile în cosmos
- 10.1.10 Contractia lungimii
- 10.1.11 Impulsul relativist (Cvadari-impuls)
- 10.1.12 Echivalența masă-energie ($E = mc^2$)
- 10.1.13 Masa în relativitatea specială
- 10.1.14 Cauzalitatea și imposibilitatea depășirii vitezei luminii
- 10.1.15 Principiul corespondenței
- 10.2 Teoria relativității generale
- Ecuatiile lui Einstein
- 10.2.1 Principiul echivalenței
- 10.2.2 Dilatarea gravitațională a timpului
- 10.2.3 Curbarea luminii de către gravitație (Lentile gravitaționale)
- 10.2.4 Desplasarea gravitațională spre roșu
- 10.2.5 Mișcarea lui Mercur (Precesia periheliului lui Mercur)
- 10.2.6 Gravitația, spațiul și o nouă geometrie (Geometria și gravitația)
- 10.2.7 Unde gravitaționale
- 10.2.8 Gravitația lui Newton și cea a lui Einstein
- 11 Mecanica cuantică
- 11.1 Mecanica cuantică
- 11.1.1 Radiația corpului negru și cuantificarea lui Planck
- 11.1.2 Unde materiale - Relațiile de Broglie
- 11.2 Dualitatea undă-particulă
- 11.2.1 Microscopul lui Heisenberg

- 11.2.2 Disputa Einstein-Bohr
- 11.2.3 Experimentul alegerii întârziate
- 11.3 Ecuația de undă Schrödinger
- 11.3.1 Stări cuantice
- 11.3.2 Funcția de undă
- 11.3.3 Colapsul funcției de undă
- 11.3.4 Interpretarea probabilităților (Problema măsurătorilor)
- 11.3.5 Formularea spațiului de fază
- 11.4 Pachete de unde
- 11.4.1 Aplicații ale relației de inertitudine
- 11.4.1.1 Relația de incertitudine timp-energie
- 11.4.1.2 Paradoxurile lui Zenon în mecanica cuantică
- 11.4.2 Funcții proprii
- 11.4.3 Operatorul impuls
- 11.4.4 Forma generală a ecuației Schrodinger: Operatorul hamiltonian
- 11.4.5 Postulatele mecanicii cuantice și semnificația măsurătorilor
- 11.5 Soluții ale ecuației Schrödinger
- 11.5.1 Particulă într-o cutie unidimensională
- 11.5.2 Barieră rectangulară de potențial
- 11.5.3 Puț de potențial finit
- 11.5.4 Paritatea
- 11.5.5 Oscilatorul armonic unidimensional
- 11.5.6 Operatorul momentului unghiular
- 11.5.6.1 Relația de incertitudine dintre momentul unghiular și unghiul de rotație
- 11.5.7 Particule identice
- 11.5.8 Potențialul central (Potențialul cuantic)
- 11.5.9 Puțul de potențial
- 11.6 Paradoxuri și interpretări ale mecanicii cuantice
- 11.6.1 Inseparabilitatea cuantică
- 11.6.2 Paradoxurile mecanicii cuantice
- 11.6.3 Paradoxul EPR
- 11.6.4 Interpretarea Copenhaga
- 11.6.5 Variabile ascunse
- 11.6.6 Paradoxul pisicii lui Schrödinger
- 11.6.7 Interpretarea ansamblului (statistică)
- 11.6.8 Interpretarea multiplelor lumi
- 11.7 Stările cuantice conform lui Dirac
- 11.7.1 Ecuația de undă Dirac
- 11.7.2 Notăția bra-ket în mecanica cuantică
- 11.8 Corespondența cu mecanica clasică
- 11.8.1 Ecuația de mișcare a lui Heisenberg (Reprezentările Heisenberg, Schrödinger și Dirac)
- 11.8.2 Teorema Ehrenfest și limita clasică a mecanicii cuantice
- 11.8.3 Aproximarea WKB
- 11.8.4 Teorema adiabatică
- 11.9 Momentul unghiular și spinul
- 11.9.1 Momentul unghiular
- 11.9.2 Spin și matrice
- 11.9.3 Mecanica matriceală
- 11.9.3.1 Particule cu spin în câmp magnetic: Rezonanța magnetică nucleară
- 11.9.3.2 Precesia spinului în câmp magnetic (Rezonanța paramagnetică a electronilor)
- 11.9.4 Cuplarea momentelor unghiulare
- 11.9.5 Principiul de excluziune Pauli
- 11.9.6 Starea singlet și paradoxul EPR
- 11.9.7 Teorem Bell
- 11.9.8 Inegalitatea Bell
- 11.10 Materia cuantică
- 11.10.1 Atomul de hidrogen

- 11.10.1.1 Atomul de hidrogen în interpretarea de la Copenhaga
- 11.10.2 Structura fină a hidrogenului
- 11.10.3 Interacția spin-orbită
- 11.10.4 Explicația cuantică a tabelului periodic al elementelor
- 11.10.5 Structura moleculelor
- 11.10.6 Condensat Bose-Einstein și condensat fermionic
- 11.10.7 Gazul Fermi și gazul Bose
- 11.11 Perturbații
- 11.11.1 Metode de aproximare pentru stări staționare
- 11.11.2 Efectul Stark
- 11.11.3 Teoria perturbației dependente de timp
- 11.11.4 Perturbația periodică: Regula de aur a lui Fermi
- 11.11.5 Teoria dispersiei. Aproximarea Born.
- 11.11.6 Amplitudinea de împrăștiere
- 11.12 Teoria cuantică a câmpului
- 11.12.1 Electrodinamica cuantică
- 11.12.2 Efectul Zeeman
- 11.12.3 Efectul Aharonov-Bohm
- 11.12.4 Cuantizarea fluxului magnetic
- 11.12.5 Filosofia macroréalismului și SQUID
- 11.13 Modelul standard
- 11.13.1 Cromodinamica cuantică
- 11.14 Gravitația cuantică
- 11.14.1 Gravitația cuantică în bucle
- 11.14.2 Teoria corzilor
- 11.14.3 Teoria finală
- 11.15 Filosofia și interpretările mecanicii cuantice
- 11.15.1 Interpretări ale mecanicii cuantice
- 11.15.2 Măsurători în mecanica cuantică
- 11.15.3 Matricea de densitate
- 11.15.4 Interpretarea Von Neumann–Wigner
- 12 Perspective în fizică
- 12.1 Probleme rezolvate recent în fizică
- 12.2 Probleme nerezolvate în fizică
- Anexe
- Anexa A1 Sisteme de măsură
- Anexa A2 Vectori

8 Lumina



Răsărit de Soare deasupra muntelui Fuji, Japonia

Lumina este o radiație electromagnetică într-o anumită porțiune a spectrului electromagnetic. Cuvântul se referă, de obicei, la lumina vizibilă, care este vizibilă pentru ochiul uman și care este responsabilă de simțul vederii. Luminile vizibile sunt de obicei definite ca având lungimi de undă cuprinse între 400-700 nanometri (nm) sau între $4,00 \times 10^{-7}$ și $7,00 \times 10^{-7}$ m, între infraroșu (cu lungimi de undă mai lungi) și ultraviolete (cu lungimi de undă mai scurte). Această lungime de undă înseamnă o gamă de frecvențe de aproximativ 430-750 terahertz (THz).

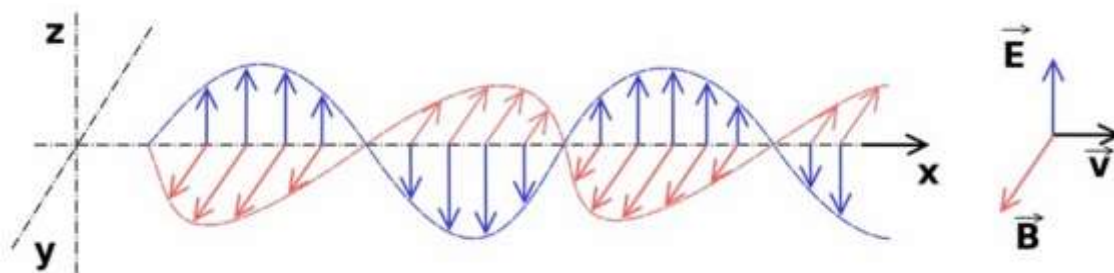
Principala sursă de lumină de pe Pământ este Soarele. Lumina soarelui furnizează energia pe care plantele verzi o folosesc pentru a crea zaharuri în cea mai mare parte sub formă de amidon, care eliberează energia în ființele vii. Acest proces de fotosinteză furnizează practic toată energia folosită de ființele vii. Din punct de vedere istoric, o altă sursă importantă de lumină pentru oameni a fost focul, de la focuri de tabără antice la lămpile moderne de kerosen. Odată cu dezvoltarea iluminării electrice și a sistemelor energetice, iluminatul electric a înlocuit efectiv focul. Unele specii de animale generează lumină proprie, un proces numit bioluminescență. De exemplu, licuricii utilizează lumină pentru a se localiza între ei, iar calmarul vampir o folosește pentru a se ascunde de pradă.

8.1 Proprietățile luminii

Proprietățile principale ale luminii vizibile sunt intensitatea, direcția de propagare, frecvența sau spectrul lungimii de undă și polarizarea, în timp ce viteza în vid, de 299.792.458 metri pe secundă, este una dintre constantele fundamentale ale naturii. Lumina vizibilă, la fel ca în cazul tuturor tipurilor de radiații electromagnetice, s-a determinat experimental că are întotdeauna această viteză în vid.

În fizică, termenul de *lumină* se referă uneori la radiația electromagnetică a oricărei lungimi de undă, fie ea vizibilă sau nu. În acest sens, razele gamma, razele X, microundele și undele radio sunt, de asemenea, lumină. Nu există limite reale între un interval de lungimi de undă și altul. Ca toate tipurile de lumină, lumina vizibilă este emisă și absorbită în mici "pachete" numite fotoni și prezintă proprietăți atât ale undelor cât și ale particulelor. Această proprietate este menționată ca dualitatea particulă-undă. Studiul luminii, cunoscut sub numele de optica, este un domeniu important de cercetare în fizica modernă. Când lungimile de undă sunt foarte mici în comparație cu dimensiunile echipamentului disponibil pentru studiul lor și energiile fotonice sunt mici în comparație cu sensibilitatea energetică a echipamentului, studiul se face printr-o aproximare numită optica geometrică. Dacă lungimile de undă sunt comparabile cu dimensiunile echipamentului și dacă energiile fotonice sunt încă neglijabile, aproximarea poate fi făcută studiind comportamentul clasic al undelor, radiațiile electromagnetice. Pentru lungimi de undă foarte scurte și fotonii au o energie foarte mare în comparație cu sensibilitatea echipamentului, se folosește aproximarea fonică.

8.1.1 Unde electromagnetice



Undele electromagnetice care compun radiația electromagnetică pot fi imaginate ca unde oscilante transversal cu auto-propagare ale câmpurilor electrice și magnetice. Această diagramă arată o undă a radiației electromagnetice plană polarizată linear care

În fizică, radiația electromagnetică se referă la undele (sau cuanta lor, fotoni) ale câmpului electromagnetic, propagându-se (radiind) prin spațiu-timp, purtând energia radiantă electromagnetică. Radiația electromagnetică este o combinație de câmpuri electrice și magnetice oscilante care se propagă prin spațiu și care transportă energie dintr-un loc în altul. În mod clasic, radiația electromagnetică constă din unde electromagnetice, care sunt oscilații sincrone ale câmpurilor electrice și magnetice care se propagă la viteza luminii printr-un vid. Oscilațiile celor două câmpuri sunt perpendiculare între ele și perpendiculare pe direcția energiei și propagării undelor, formând o undă transversală. Frontalul undelor electromagnetice emise de o sursă punctuală (cum ar fi un bec) este o sferă. Poziția unei unde electromagnetice în spectrul electromagnetic poate fi caracterizată fie de frecvența oscilației, fie de lungimea de undă. Acesta include undele radio, microundele, infraroșu, lumina (vizibilă), ultraviolete, razele X și razele gamma. Studiul teoretic al radiațiilor electromagnetice se numește *electrodinamica*, un subdomeniu al *electromagnetismului*.

Undele electromagnetice sunt produse ori de câte ori particulele încărcate sunt accelerate, iar aceste unde pot interacționa ulterior cu alte particule încărcate. Când orice fir (sau un alt obiect conductor precum o antenă) conduce curentul alternativ, radiația electromagnetică este propagată cu aceeași frecvență ca și curentul electric. În funcție de circumstanțe, se poate comporta ca undă sau ca particulă. Ca undă, aceasta este caracterizată printr-o viteză (viteza luminii), lungime de undă, și frecvență. Atunci când se consideră particulele, acestea sunt cunoscute sub numele de *fotoni*, și fiecare are o energie legată de frecvența undei dată de relația lui Planck.

În general, radiația electromagnetică este clasificată în funcție de lungimea de undă în radio, microunde, lumina infraroșie, lumina vizibilă, lumina ultravioletă, raze X și raze gamma. Radiațiile în vid se deplasează mereu cu viteza luminii, în raport cu observatorul, indiferent de viteza observatorului. (Această observație a

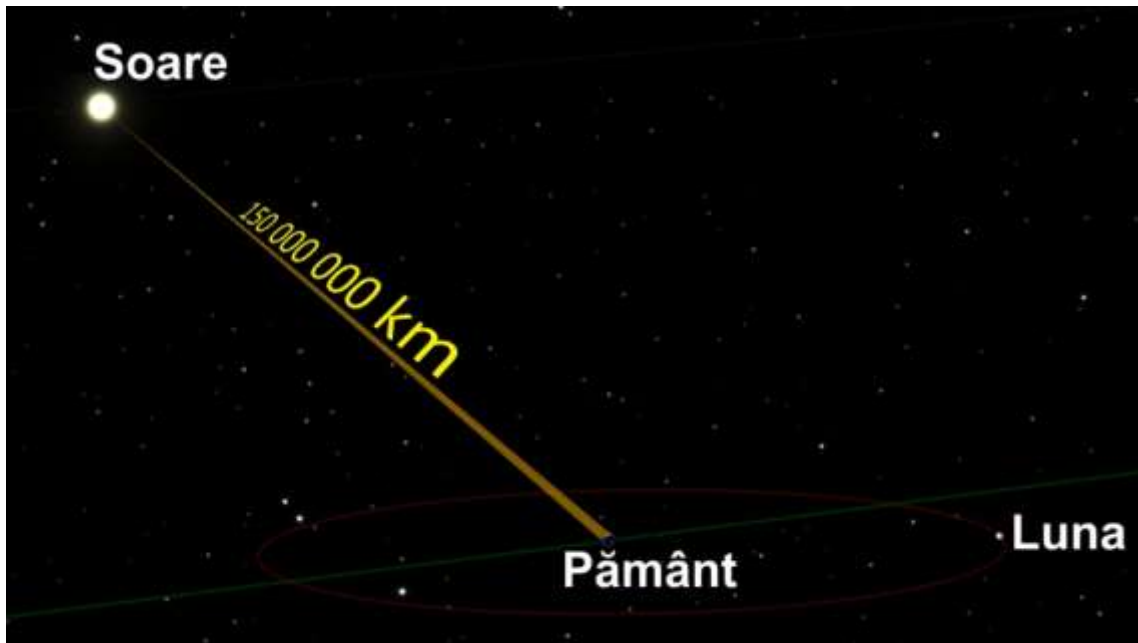
condus la dezvoltarea lui Albert Einstein a teoriei relativității speciale).

Efectul radiațiilor depinde de cantitatea de energie transportată per cuantă. Energiile mari corespund frecvențelor înalte și lungimilor de undă scurte, și vice-versa. Efectele radiațiilor asupra compușilor chimici și a organismelor biologice depind atât de puterea radiației, cât și de frecvența acesteia. Radiația electromagnetică la frecvențe vizibile sau mai joase (adică lumină vizibilă, infraroșu, microunde și unde radio) se numește radiație neionizantă, deoarece fotonii nu au suficientă energie individuală pentru a ioniza atomii sau moleculele. Efectele acestor radiații asupra sistemelor chimice și a țesuturilor vii sunt cauzate în primul rând de efectele de încălzire ale transferului de energie combinat al multor fotoni. În schimb, radiațiile ultraviolete, razele X și razele gama sunt denumite radiații ionizante, deoarece fotonii individuali la o astfel de frecvență înaltă au suficientă energie pentru a ioniza moleculele sau pentru a rupe legăturile chimice. Aceste radiații au capacitatea de a provoca reacții chimice și de a deteriora celulele vii dincolo de cele care rezultă din încălzirea simplă și pot constitui un pericol pentru sănătate.

Multe informații despre proprietățile fizice ale unui obiect pot fi obținute de la spectrul său electromagnetic. Acest lucru poate fi spectrul luminii fie emise, fie transmisă spre obiect. Acest aspect implică *spectroscopia*, care este utilizată pe scară largă în astrofizică. De exemplu, mulți atomi de hidrogen emit unde radio, care au o lungime de undă de 21,12 cm.

Când radiația electromagnetică trece printr-un conductor induce un flux de curent electric în conductor. Acest efect este folosit în antene. Radiațiile electromagnetice pot provoca, de asemenea, anumite molecule să oscileze și, astfel, să se încălzească. Acest lucru este exploatat în cuptorul cu microunde.

8.1.1 Viteza undelor electromagnetice



Razele solare au nevoie de aproximativ 8 minute și 17 secunde pentru a traversa distanța medie de la suprafața Soarelui la Pământ.

Orice sarcină electrică care accelerează sau orice câmp magnetic în schimbare produce radiații electromagnetice. Informațiile electromagnetice despre sarcină se deplasează cu viteza luminii. Precizia tratamentului încorporează astfel un concept cunoscut ca timp întârziat, care se adaugă expresiilor câmpului electric și câmpului magnetic electrodinamic. Acești termeni suplimentari sunt responsabili pentru radiațiile electromagnetice.

Atunci când orice fir (sau alt obiect conducător, cum ar fi o antenă) produce curent alternativ, radiația electromagnetică este propagată la aceeași frecvență ca și curentul. În multe astfel de situații este posibil să se identifice un moment dipol electric care rezultă din separarea sarcinilor datorită potențialului electric excitant, iar acest moment dipol oscilează în timp, pe măsură ce sarcinile se mișcă înainte și înapoi. Această oscilație la o anumită frecvență dă naștere la schimbarea câmpurilor electrice și magnetice, care apoi determină radiația electromagnetică în mișcare.

La nivelul cuantic, radiația electromagnetică este produsă atunci când pachetul de unde al unei particule încărcate oscilează sau accelerează în alt mod. Particulele încărcate într-o stare staționară nu se mișcă, însă o

suprapunere a unor astfel de stări poate duce la o stare de tranziție care are un moment dipol electric care oscilează în timp. Acest moment dipol oscilant este responsabil pentru fenomenul tranziției radiative între stările cuantice ale unei particule încărcate. Astfel de stări apar (de exemplu) în atomi atunci când fotonii sunt radiați pe măsură ce atomul se schimbă de la o stare staționară la alta.

Ca undă, lumina este caracterizată de o viteză (viteza luminii), lungimea de undă și frecvența. Ca particulă, lumina este un flux de fotoni. Fiecare are o energie legată de frecvența undelor date de relația lui Planck $E = hf$, unde E este energia fotonului, $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J·s este constanta lui Planck și f este frecvența undelor.

O regulă este respectată indiferent de circumstanțe: radiația electromagnetică în vid se deplasează la viteza luminii, în raport cu observatorul, indiferent de viteza observatorului. (Această observație a dus la dezvoltarea de către Einstein a teoriei relativității speciale.)

Într-un mediu (altul decât vid), factorul de viteză sau indicele de refracție sunt luate în considerare, în funcție de frecvență și de aplicație. Ambele sunt raporturi ale vitezei într-un mediu la viteza în vid.

Viteza luminii

Viteza luminii în vid, notată în mod obișnuit c , este o constantă fizică universală importantă în multe domenii ale fizicii. Valoarea sa exactă este de 299.792.458 metri pe secundă (aproximativ $3,00 \times 10^8$ m/s sau 300.000 km/s). Este exactă deoarece unitatea de lungime, metru, este definită de această constantă și de standardul internațional pentru timp. Conform relativității speciale, c este viteza maximă la care toate materialele convenționale și, prin urmare, toate formele cunoscute de informații din univers pot călători. Deși această viteză este cel mai frecvent asociată cu lumina, este de fapt viteza cu care toate particulele fără masă și schimbările câmpurilor asociate se deplasează în vid (inclusiv radiația electromagnetică și undele gravitaționale). Astfel de particule și unde se deplasează cu c , indiferent de mișcarea sursei sau de cadrul de referință inerțial al observatorului. În teoria relativității, c interconectează spațiul și timpul și, de asemenea, apare în faimoasa ecuație de echivalență energetică în masă $E = mc^2$.

Viteza la care lumina se propagă prin materiale transparente, cum ar fi sticla sau aerul, este mai mică decât c ; în mod similar, viteza undelor electromagnetice în cablurile de sârmă este mai lentă decât c . Raportul dintre c și viteza v la care lumina se deplasează într-un material se numește indicele de refracție n al materialului ($n = c/v$). De exemplu, pentru lumina vizibilă, indicele de refracție al sticlei este în mod obișnuit de aproximativ 1,5, ceea ce înseamnă că lumina în sticlă se deplasează la $c/1,5 \approx 200,000$ km/s; indicele de refracție al aerului pentru lumina vizibilă este de aproximativ 1.0003, astfel încât viteza luminii în aer este de aproximativ 299.700 km/s (cu circa 90 km/s mai mică decât c).

În multe scopuri practice, undele luminoase și alte unde electromagnetice se vor propaga instantaneu, dar pentru distanțe lungi și măsurători foarte sensibile, viteza lor finită are efecte vizibile. În comunicarea cu sonde spațioase îndepărtate, poate dura câteva minute până la ore pentru ca un mesaj să ajungă de la Pământ la nava spațială sau invers. Lumina văzută de la stele a fost emisă cu mulți ani în urmă, permițând studiul istoriei universului, uitându-ne la obiecte îndepărtate. Viteza finită a luminii limitează, de asemenea, viteza teoretică maximă a calculatoarelor, deoarece informațiile trebuie trimise în interiorul computerului de la cip la cip. Viteza luminii poate fi utilizată cu măsurătorile timpului de zbor pentru a măsura distanțele mari la o mare precizie.

Ole Rømer a demonstrat pentru prima dată în 1676 că lumina călătorește la o viteză finită (nu instantaneu), studiind mișcarea aparentă a lunii lui Jupiter, Io. În 1865, James Clerk Maxwell a propus ca lumina să fie o undă electromagnetică și, prin urmare, se deplasează la viteza c care apare în teoria sa de electromagnetism. În 1905, Albert Einstein a afirmat că viteza luminii c în raport cu orice cadru inerțial este o constantă și este independentă de mișcarea sursei de lumină. El a explorat consecințele acestui postulat derivând teoria relativității și făcând astfel să demonstreze că parametrul c are relevanță în afara contextului luminii și electromagnetismului.

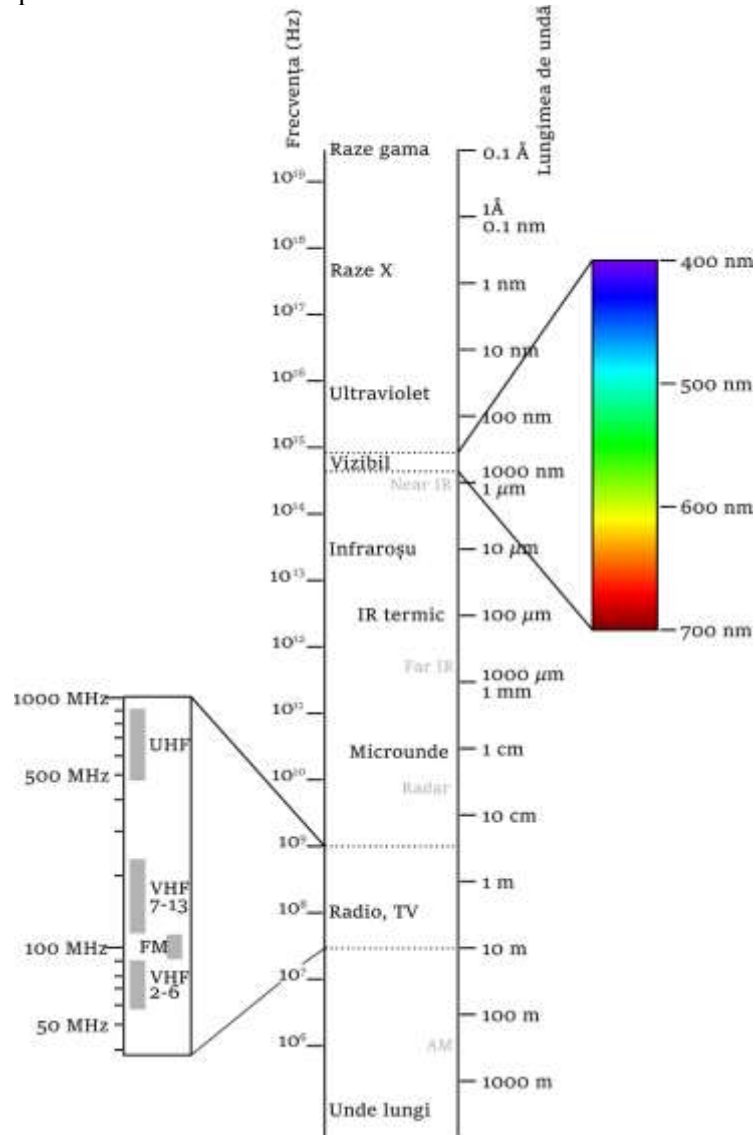
După secole de măsurători din ce în ce mai precise, în 1975 viteza luminii era cunoscută ca fiind 299792458 m/s, cu o incertitudine de măsurare de 4 părți per miliard. În 1983, metru a fost redefinit în Sistemul Internațional de Unități (SI) ca distanța parcursă de lumină în vid în $1/299792458$ din o secundă. Ca rezultat, valoarea numerică a lui c în metri pe secundă este fixată exact prin definiția metrului.

8.1.2 Spectrul electromagnetic

Spectrul electromagnetic este domeniul de frecvențe (spectrul) radiației electromagnetice și a lungimilor de undă respective și a energiilor fotonice.

Spectrul electromagnetic acoperă undele electromagnetice cu frecvențe variind de la mai puțin de un hertz

la peste 10^{25} hertzi, corespunzând lungimilor de undă de la mii de kilometri până la o fracțiune din dimensiunea nucleului atomic. Această gamă de frecvențe este împărțită în benzi separate, iar undele electromagnetice din fiecare bandă de frecvențe sunt numite prin nume diferite; începând cu frecvența joasă (lungimea de undă lungă) a spectrului, acestea sunt: undele radio, microundele, infraroșu, lumina vizibilă, ultravioletele, razele X și razele gamma la capătul de frecvență înaltă (lungime de undă scurtă). Undele electromagnetice din fiecare dintre aceste benzi au caracteristici diferite, cum ar fi modul în care sunt produse, modul în care acestea interacționează cu materia și aplicațiile lor practice.



O diagramă a spectrului electromagnetic, care prezintă diferite proprietăți în întreaga gamă de frecvențe și lungimi de undă. <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Electromagnetic-Spectrum.svg>

Limita pentru lungimi de undă lungi este dimensiunea universului în sine, în timp ce se consideră că limita de lungime de undă scurtă este în vecinătatea lungimii Planck. Razele gama, razele X și radiațiile ultraviolete sunt clasificate drept *radiații ionizante*, deoarece fotonii lor au suficientă energie pentru a ioniza atomii, provocând reacții chimice. Expunerea la aceste raze poate fi un pericol pentru sănătate, cauzând boală prin radiații, daune ADN și cancer. Radiația lungimilor de undă ale luminii vizibile și a celor inferioare se numesc *radiații neionizante*, deoarece acestea nu pot provoca aceste efecte.

În majoritatea benzilor de frecvență de mai sus, o tehnică numită spectroscopie poate fi utilizată pentru a separa fizic undele de frecvențe diferite, producând un spectru care prezintă frecvențele constituente. Spectroscopia este folosită pentru a studia interacțiunile undelor electromagnetice cu materia.

| Clasa | | Frecvența | Lungimea de undă | Energia | |
|--------------------|----------|-----------|------------------|---------|----------|
| Radiații ionizante | γ | Raze gama | 300 EHz | 1 pm | 1.24 MeV |

| | | | | | |
|----------|-----|----------------------------|---------|--------|----------|
| | | | 30 EHz | 10 pm | 124 keV |
| | HX | Raze X tari | | | |
| | | | 3 EHz | 100 pm | 12.4 keV |
| | SX | Raze X moi | 300 PHz | 1 nm | 1.24 keV |
| | | | 30 PHz | 10 nm | 124 eV |
| | EUV | Ultraviolete extreme | | | |
| | | | 3 PHz | 100 nm | 12.4 eV |
| | NUV | Ultraviolete apropiate | | | |
| Vizibile | | | 300 THz | 1 μm | 1.24 eV |
| | NIR | Infraroșii apropiate | | | |
| | | | 30 THz | 10 μm | 124 meV |
| | MIR | Infraroșii medii | | | |
| | | | 3 THz | 100 μm | 12.4 meV |
| | FIR | Infraroșii îndepărtate | | | |
| | | | 300 GHz | 1 mm | 1.24 meV |
| | EHF | Frecvență extrem de înalte | | | |
| | | | 30 GHz | 1 cm | 124 μeV |
| | SHF | Frecvențe super înalte | | | |
| | | | 3 GHz | 1 dm | 12.4 μeV |
| | UHF | Frecvențe ultra înalte | | | |
| | | | 300 MHz | 1 m | 1.24 μeV |
| | VHF | Frecvențe foarte înalte | | | |
| | | | 30 MHz | 10 m | 124 neV |
| | HF | Frecvențe înalte | | | |
| | | | 3 MHz | 100 m | 12.4 neV |
| | MF | Frecvențe medii | | | |
| | | | 300 kHz | 1 km | 1.24 neV |
| | LF | Frecvențe joase | | | |
| | | | 30 kHz | 10 km | 124 peV |
| | VLF | Frecvențe foarte joase | | | |
| | | | 3 kHz | 100 km | 12.4 peV |
| | ULF | Frecvențe ultra joase | | | |
| | | | 300 Hz | 1 Mm | 1.24 peV |
| | SLF | Frecvențe super joase | | | |
| | | | 30 Hz | 10 Mm | 124 feV |
| | ELF | Frecvențe extrem de joase | | | |
| | | | 3 Hz | 100 Mm | 12.4 feV |

Legenda

| | | |
|------------------|------------------------------|-----------------------|
| γ = Raze gama | MIR = Infraroșii medii | HF = Frecvență înaltă |
| HX = Raze X tari | FIR = Infraroșii îndepărtate | MF = Frecvență medie |
| SX = Raze X moi | Unde radio | LF = Frecvență joasă |

| | | |
|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| EUV = Ultraviolete extreme | EHF = Frecvență extrem de înaltă | VLF = Frecvență foarte joasă |
| NUV = Ultraviolete apropiate | SHF = Frecvență super înaltă | VF/ULF = Frecvență vocală |
| Lumina vizibilă | UHF = Frecvență super înaltă | SLF = Frecvență super joasă |
| NIR = Infraroșii apropiate | VHF = Frecvență foarte înaltă | ELF = Frecvență extrem de joasă |
| | | Freq = Frecvență |

Intervalul spectrului

Undele electromagnetice sunt în mod obișnuit descrise prin oricare dintre următoarele trei proprietăți fizice: frecvența f , lungimea de undă λ sau energia fonică E . Frecvențele observate în astronomie variază de la $2,4 \times 10^{23}$ Hz (raze gama de 1 GeV) până la frecvența plasmatică locală a mediului interstelar ionizat (~ 1 kHz). Lungimea de undă este invers proporțională cu frecvența undei, astfel încât razele gama au lungimi de undă foarte scurte care sunt fracții ale mărimii atomilor, în timp ce lungimile de undă de pe capătul opus al spectrului pot de mărimea universului. Energia fonică este direct proporțională cu frecvența undei, astfel încât fotonii cu raze gama au cea mai mare energie (aproximativ un miliard de electroni volți), în timp ce fotonii cu unde radio au energie foarte mică (în jurul unui femtoelectronvolt).

| CLASS | FREQUENCY | WAVELENGTH | ENERGY |
|----------|-----------|-------------|---------------|
| γ | 300 EHz | 1 pm | 1.24 MeV |
| HX | 30 EHz | 10 pm | 124 keV |
| SX | 3 EHz | 100 pm | 12.4 keV |
| EUV | 300 PHz | 1 nm | 1.24 keV |
| NUV | 30 PHz | 10 nm | 124 eV |
| NUV | 3 PHz | 100 nm | 12.4 eV |
| NIR | 300 THz | 1 μ m | 1.24 eV |
| MIR | 30 THz | 10 μ m | 124 meV |
| FIR | 3 THz | 100 μ m | 12.4 meV |
| EHF | 300 GHz | 1 mm | 1.24 meV |
| SHF | 30 GHz | 1 cm | 124 μ eV |
| UHF | 3 GHz | 1 dm | 12.4 μ eV |
| VHF | 300 MHz | 1 m | 1.24 μ eV |
| HF | 30 MHz | 10 m | 124 neV |
| MF | 3 MHz | 100 m | 12.4 neV |
| LF | 300 kHz | 1 km | 1.24 neV |
| VLF | 30 kHz | 10 km | 124 peV |
| VF/ULF | 3 kHz | 100 km | 12.4 peV |
| SLF | 300 Hz | 1 Mm | 1.24 peV |
| ELF | 30 Hz | 10 Mm | 124 feV |
| | 3 Hz | 100 Mm | 12.4 feV |

Spectrul luminii. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Light_spectrum.svg

Aceste relații sunt ilustrate prin următoarele ecuații:

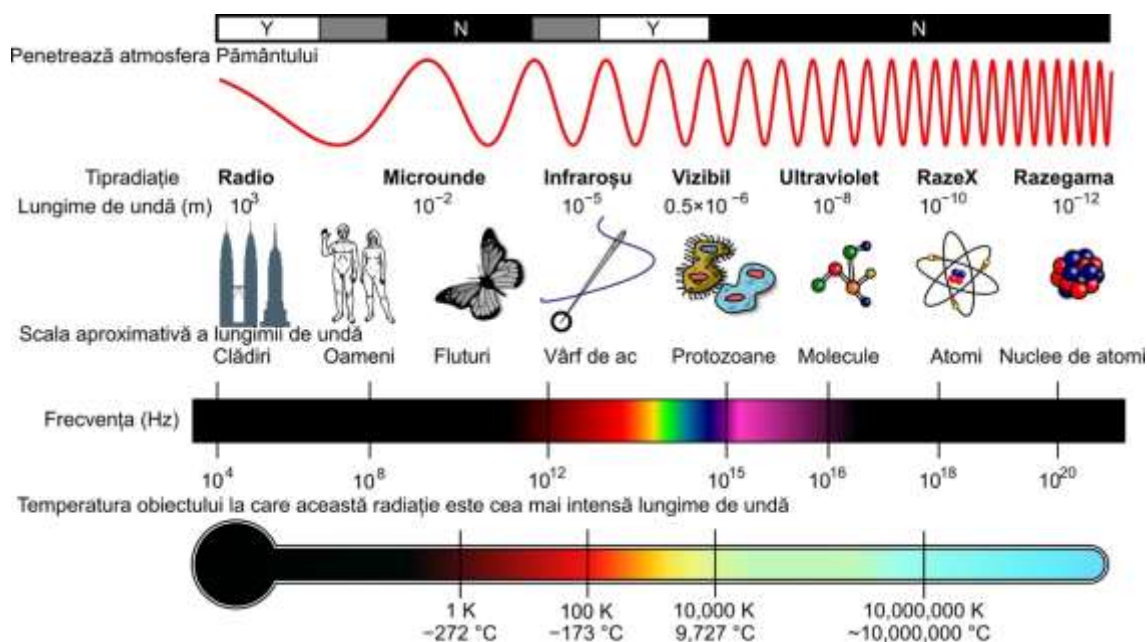
$$f = c/\lambda \text{ sau } f = E/h \text{ sau } E = hc/\lambda,$$

unde: $c = 299792458 \text{ m/s}$ este viteza luminii în vid, $h = 6.62606896(33) \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4.13566733(10) \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ este constanta lui Planck.

Ori de câte ori există unde electromagnetice într-un mediu cu materie, lungimea lor de undă scade. Lungimile de undă ale radiației electromagnetice, indiferent de mediul în care se deplasează, sunt de obicei citate în termeni de *lungime de undă în vid*, deși acest lucru nu este întotdeauna specificat explicit.

În general, radiațiile electromagnetice sunt clasificate prin lungimi de undă în radiații radio, microunde, radiații terahertz (sau submilimetrice), infraroșu, regiunea vizibilă care este percepută ca lumină, ultraviolet, raze X și raze gama. Comportamentul radiației electromagnetice depinde de lungimea de undă. Când radiația electromagnetică interacționează cu atomii și moleculele individuale, comportamentul acesteia depinde și de cantitatea de energie pe o cuantă (foton) pe care îl transportă.

Spectroscopia poate detecta o regiune mult mai largă a spectrului electromagnetic decât domeniul vizibil de 400 nm până la 700 nm. Un spectroscop de laborator comun poate detecta lungimi de undă de la 2 nm la 2500 nm. Informații detaliate despre proprietățile fizice ale obiectelor, gazelor sau chiar stelelor pot fi obținute de pe acest tip de dispozitiv. Spectroscopicele sunt utilizate pe scară largă în astrofizică. De exemplu, mulți atomi de hidrogen emit un foton cu unde radio care are o lungime de undă de 21,12 cm. De asemenea, frecvențele de 30 Hz și mai mici pot fi obținute și sunt importante în studiul anumitor nebuloase stelare, iar frecvențele de până la $2,9 \times 10^{27} \text{ Hz}$ au fost detectate din surse astrofizice.



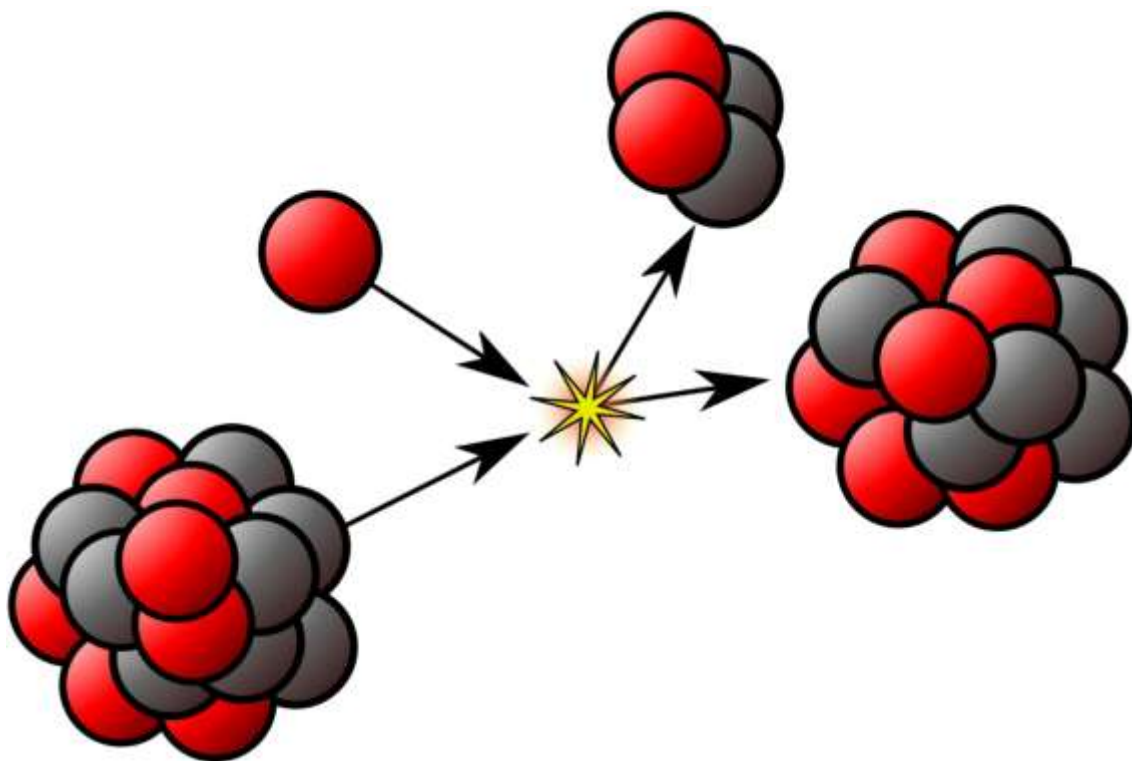
Spectrul electromagnetic. https://en.wikipedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties_edit.svg

9 Fizica atomică și nucleară

Fizica atomică este domeniul fizicii care studiază atomii ca un sistem izolat format din electroni și un nucleu atomic. Este în primul rând preocupată de aranjarea electronilor în jurul nucleului și de procesele prin care aceste aranjamente se schimbă. Aceasta cuprinde ioni, și atomi neutri. Dacă nu se specifică altfel, se poate presupune că termenul *atom* include ionii.

Termenul *fizică atomică* poate fi asociat cu energia nucleară și cu armele nucleare, datorită utilizării sinonime a *atomilor* și a *nucleelor*. Fizicienii fac distincția între fizica atomică - care se ocupă de atom ca un sistem alcătuit dintr-un nucleu și electroni - și fizica nucleară, care ia în considerare numai nucleele atomice.

Ca și în multe domenii științifice, delimitarea strictă poate fi extrem de controversată, iar fizica atomică este adesea luată în considerare în contextul mai larg al fizicii atomice, moleculare și optice. Grupurile de cercetare în domeniul fizicii sunt de obicei clasificate astfel.



O parte din diagrama ciclului CNO, pentru ilustrarea reacțiilor nucleare.

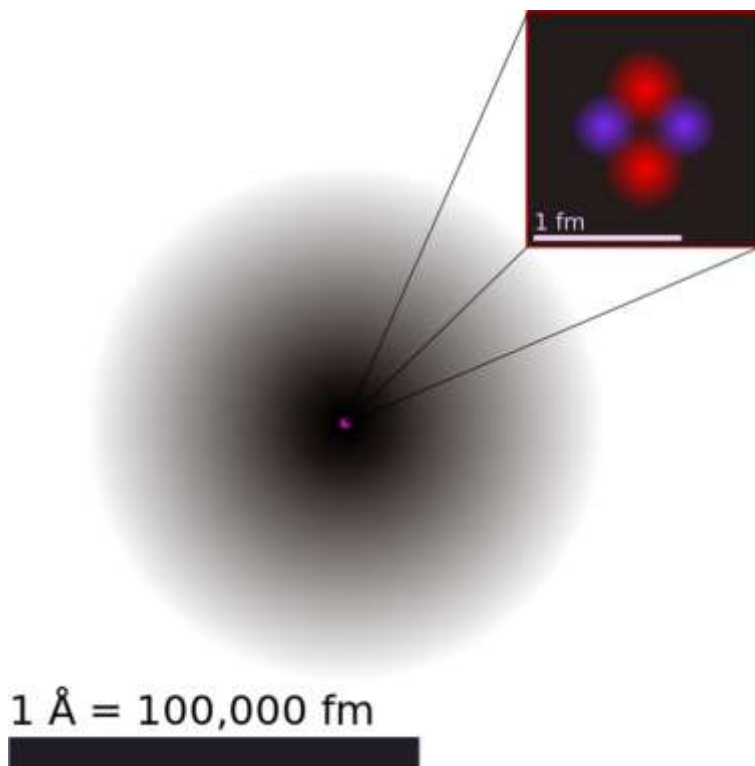
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:NuclearReaction.svg>

Fizica nucleară este domeniul fizicii care studiază nucleele atomice și constituenții și interacțiunile lor. Sunt studiate și alte forme de materii nucleare.

Descoperirile în fizica nucleară au dus la aplicații în multe domenii. Acestea includ energia nucleară, armele nucleare, medicina nucleară și imagistica prin rezonanță magnetică, izotopii industriali și agricoli, implantarea ionilor în ingineria materialelor și datarea cu radiocarbon din geologie și arheologie. Astfel de aplicații sunt studiate în domeniul ingineriei nucleare.

Fizica particulelor a evoluat din fizica nucleară, iar cele două domenii sunt de obicei predate în asociere strânsă. Astrofizica nucleară, aplicarea fizicii nucleare la astrofizică, este crucială în explicarea funcționării interioare a stelelor și a originii elementelor chimice.

9.1 Atomul și cuanta



Structura atomului de heliu, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Helium_atom_QM.svg

Un atom este cea mai mică unitate constitutivă a materiei obișnuite care are proprietățile unui element chimic. Fiecare solid, lichid, gaz și plasmă este compus din atomi neutri sau ionizați. Atomii sunt foarte mici; mărimile tipice sunt în jur de 100 de picometri (zece miliardimi de metru).

Atomii sunt suficient de mici încât încercarea de a prezice comportamentul lor folosind fizica clasică - ca și cum ar fi bile de biliard, de exemplu - să dea pronosticuri incorecte din cauza efectelor cuantice. Prin dezvoltarea fizicii, modelele atomice au încorporat principii cuantice pentru a explica și anticipa mai bine comportamentul.

Fiecare atom este compus dintr-un nucleu și unul sau mai mulți electroni legați de nucleu. Nucleul este format din unul sau mai mulți protoni și de obicei un număr similar de neutroni. Protonii și neutronii sunt numiți nucleoni. Mai mult de 99,94% din masa atomului se află în nucleu. Protonii au o încărcătură electrică pozitivă, electronii au o sarcină electrică negativă, iar neutronii nu au nicio sarcină electrică. Dacă numărul de protoni și electroni este egal, atomul este neutru din punct de vedere electric. Dacă un atom are mai mulți sau mai puțini electroni decât protonii, atunci are o încărcătură globală negativă sau pozitivă, respectiv, și se numește ion.

Electronii unui atom sunt atrași de protonii dintr-un nucleu atomic prin această forță electromagnetică. Protonii și neutronii din nucleu sunt atrași unul de altul printr-o forță diferită, forța nucleară, care este de obicei mai puternică decât forța electromagnetică acționând ca forță de respinge între protonii încărcăți pozitiv. În anumite circumstanțe, forța electromagnetică respingătoare devine mai puternică decât forța nucleară, iar nucleonii pot fi eliminați din nucleu, lăsând în urmă un alt element: apare fenomenul de dezintegrare nucleară care duce la transmutarea nucleară.

Numărul de protoni din nucleu definește la ce element chimic corespunde atomul: de exemplu, toți atomii

de cupru conțin 29 de protoni. Numărul de neutroni definește izotopul elementului. Numărul de electroni influențează proprietățile magnetice ale unui atom. Atomii se pot atașa la unul sau mai mulți alți atomi prin legături chimice pentru a forma compuși chimici cum ar fi moleculele. Capacitatea atomilor de a asocia și de a disocia este responsabilă pentru majoritatea schimbărilor fizice observate în natură și este subiectul chimiei ca disciplină.

9.1.1 Descoperirea nucleului atomic

Centrul unui atom se numește **nucleu**. Acesta este compus din unul sau mai mulți protoni și de obicei câțiva neutroni. Numărul de protoni din nucleul unui atom determină numărul atomic, și ce element este atomul (de exemplu hidrogen, carbon, oxigen, etc).

Termenul nucleu este din cuvântul latin nucleus, un diminutiv al nux ("miez", "nucă"), adică nucleu (adică "nucă mică") în interiorul unui tip de fruct apos (ca o piersică). În 1844, Michael Faraday a folosit termenul pentru a se referi la "punctul central al unui atom". Sensul modern atomic a fost propus de Ernest Rutherford în 1912. Adoptarea termenului "nucleu" pentru teoria atomică, cu toate acestea, nu a fost imediată. În 1916, de exemplu, Gilbert N. Lewis a declarat, în celebrul său articol Atom și moleculă, că "atomul este compus din nucleu și un atom sau înveliș exterior"

Deși protonii încărcăți pozitiv exercită o forță electromagnetică de respingere între ei, distanțele dintre particulele nucleare sunt suficient de mici pentru ca interacțiunea puternică (care este mult mai puternică decât forța electromagnetică, dar scade mai rapid cu distanța) să predomină. (Atracția gravitațională este neglijabilă, fiind de 1036 ori mai slabă decât această repulsia electromagnetică.)

Nucleul a fost descoperit în 1911, ca urmare a eforturilor lui Ernest Rutherford de a testa modelul de "budincă cu stafide" (cunoscut și ca "budincă cu prune") al atomului Thomson. Electronul fusese deja descoperit mai devreme de J.J. Thomson însuși. Știind că atomii sunt neutri din punct de vedere electric, Thomson a postulat că trebuie să existe și o sarcină pozitivă. În modelul de budincă cu stafide, Thomson a sugerat că un atom constă din electroni negativi împrăștiați întâmplător într-o sferă de încărcare pozitivă. Ernest Rutherford a realizat mai târziu un experiment cu partenerul său de cercetare Hans Geiger și cu ajutorul lui Ernest Marsden, care a implicat devierea particulelor alfa (nuclei de heliu) îndreptate spre o foaie subțire de folie metalică. El a argumentat că dacă modelul lui Thomson ar fi corect, particulele alfa încărcate pozitiv ar trece cu ușurință prin folie, cu o abatere foarte mică în căile lor, deoarece folia ar trebui să acționeze ca neutră din punct de vedere electric dacă încărcăturile negative și pozitive sunt atât de intim amestecate încât să o facă să apară neutru. Spre surprinderea lui, multe dintre particule au deviat la unghiuri foarte mari. Deoarece masa unei particule alfa este de aproximativ 8000 de ori mai mare decât cea a unui electron, a devenit evident că trebuie să existe o forță foarte puternică dacă ar putea deflecta particulele alfa masive și rapide. El a realizat că modelul de budincă cu stafide nu poate fi corect și că devierile particulelor alfa nu pot fi explicate decât dacă încărcăturile pozitive și negative au fost separate una de alta și masa atomului a fost un punct concentrat de încărcare pozitivă. Aceasta a justificat ideea unui atom nuclear cu un centru dens de încărcare și masă pozitivă.

9.1.2 Descoperirea electronului

Grecii antice au observat că chihlimbarul atrage obiecte mici atunci când este frecat de blană. Împreună cu fulgerele, acest fenomen este una dintre cele mai vechi experiențe înregistrate de omenire în domeniul energiei electrice. În textul său din 1600, De Magnete, omul de știință englez William Gilbert a inventat noul termen latin electricus, referindu-se la această proprietate de a atrage obiecte mici după ce a fost frecat. Atât electric, cât și electricitate, sunt derivate din latinul ēlectrum, care provine din cuvântul grecesc pentru chihlimbar, ἤλεκτρον (ēlektron).

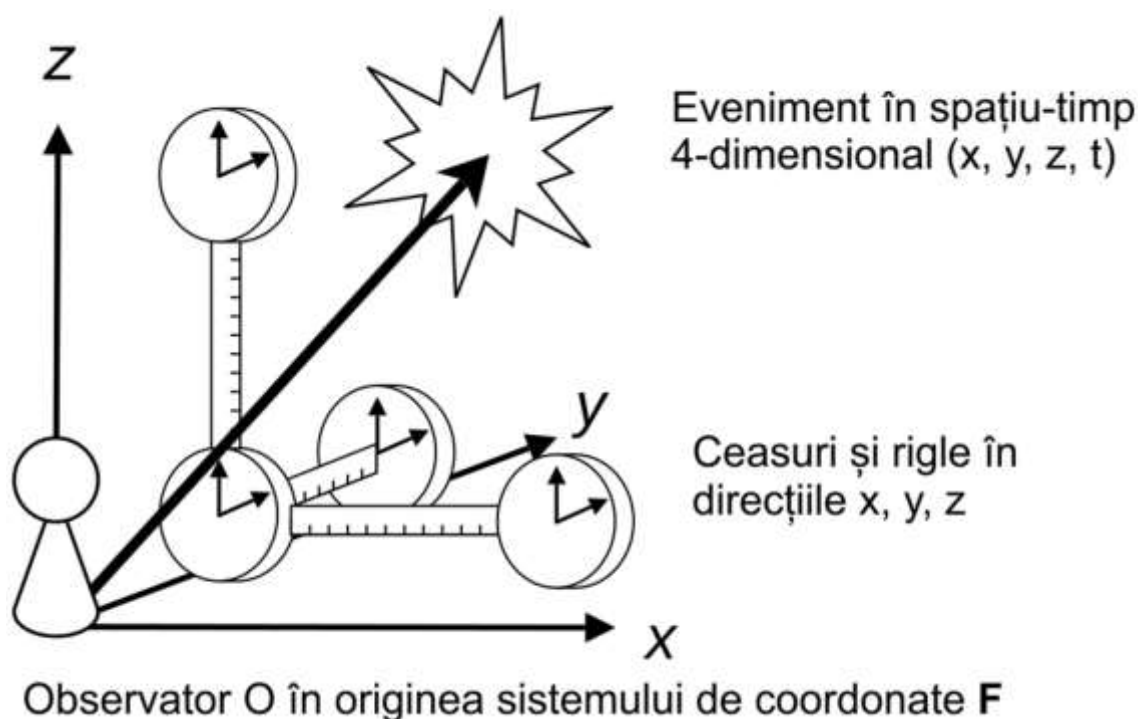
La începutul anilor 1700, Francis Hauksbee și chimistul francez Charles François du Fay au descoperit în mod independent ceea ce credeau că erau două tipuri de electricitate prin frecțiune - una generată de sticlă prin frecare, cealaltă din rășină prin frecare. Din aceasta, du Fay a susținut că electricitatea constă din două fluide electrice, vitreose și rășinoase, care sunt separate prin frecare și care se neutralizează reciproc atunci când sunt combinate. Omul de știință american Ebenezer Kinnersley mai târziu a ajuns, de asemenea, independent la aceeași concluzie. Un deceniu mai târziu, Benjamin Franklin a propus ca electricitatea să nu fie din diferite tipuri de lichid electric, ci dintr-un singur lichid electric care prezintă un exces (+) sau un deficit (-). El le-a dat

numele modern de sarcini pozitive și negative respectiv. Franklin s-a gândit la transportul de sarcini ca fiind pozitiv, dar nu a identificat în mod corect care situație este un surplus al transportului de sarcini și care este un deficit.

Între anii 1838 și 1851, filosoful natural britanic Richard Laming a dezvoltat ideea că un atom este compus dintr-un nucleu de materie înconjurat de particule subatomice care au încărcături electrice unitare. Începând cu anul 1846, fizicianul german William Weber a susținut că electricitatea este compusă din fluide încărcate pozitiv și negativ, iar interacțiunea lor este guvernată de legea inverselor pătratice. După studierea fenomenului de electroliză din 1874, fizicianul irlandez George Johnstone Stoney a sugerat existența unei "cantități singulare definite de energie electrică", sarcina unui ion monovalent. A fost capabil să estimeze valoarea acestei încărcări elementare prin legile lui Faraday de electroliză. Totuși, Stoney credea că aceste sarcini sunt atașate permanent atomilor și nu puteau fi îndepărtate. În 1881, fizicianul german, Hermann von Helmholtz, a susținut că atât sarcinile pozitive cât și cele negative sunt divizate în părți elementare, fiecare dintre ele "se comportă ca atomi de energie electrică".

Stoney inițial a inventat termenul electrolion în 1881. Zece ani mai târziu, el a trecut la electron pentru a descrie aceste sarcini elementare, scriind în 1894: "... s-a făcut o estimare a valorii reale a celei mai remarcabile unități fundamentale de energie electrică, pentru care de atunci m-am aventurat să sugerez numele de electron ". O propunere de schimbare la electrion din 1906 a eșuat, deoarece Hendrik Lorentz a preferat să păstreze electronul. Cuvântul electron este o combinație a cuvintelor electric și ion. Suffixul -on care este folosit acum pentru a desemna alte particule subatomice, cum ar fi un proton sau un neutron, este la rândul său derivat din electron.

10 Relativitatea



Un observator O , situat în originea unui sistem local de coordonate - un cadru de referință F . Observatorul din acest cadru folosește coordonatele (x, y, z, t) pentru a descrie un eveniment spațiu-timp, arătat ca o stea.

În fizică, principiul relativității este cerința ca ecuațiile care descriu legile fizicii să aibă aceeași formă în toate cadrele de referință admisibile.

De exemplu, în cadrul relativității speciale, ecuațiile Maxwell au aceeași formă în toate cadrele inerțiale de referință. În cadrul relativității generale, ecuațiile Maxwell sau ecuațiile câmpului Einstein au aceeași formă în cadrele arbitrare de referință.

Mai multe principii ale relativității au fost aplicate cu succes în știință, implicit (ca în mecanica newtoniană) sau explicit (ca în relativitatea specială și relativitatea generală a lui Albert Einstein).

Anumite principii de relativitate au fost larg acceptate în majoritatea disciplinelor științifice. Una dintre cele mai răspândite este credința că orice lege a naturii ar trebui să fie aceeași în orice moment; iar cercetările științifice presupun în general că legile naturii sunt identice indiferent de persoana care le măsoară. Aceste tipuri de principii au fost integrate în cercetarea științifică la cele mai fundamentale nivele.

Toate principiile relativității prescriu o simetrie în legea naturală: adică legile trebuie să pară la fel pentru un observator ca și pentru altul. Conform unui rezultat teoretic numit teorema lui Noether, orice asemenea simetrie va implica și o lege de conservare. De exemplu, dacă doi observatori la momente diferite văd aceleași legi, atunci o cantitate numită energie va fi conservată. În această lumină, principiile relativității fac predicții testabile

despre modul în care se comportă natura și nu sunt doar afirmații despre modul în care oamenii de știință ar trebui să scrie legi.

Teoria specială a relativității este în relație cu electromagnetismul și mecanica; respectiv, principiul relativității și principiul acțiunii staționare din mecanică pot fi utilizate pentru a obține ecuațiile lui Maxwell, și vice-versa. Ea a fost propusă în 1905 de Albert Einstein în articolul său "Despre electrodinamica corpurilor în mișcare". Titlul articolului se referă la faptul că relativitatea rezolvă o neconcordanță între ecuațiile lui Maxwell și mecanica clasică. Teoria se bazează pe două postulate: (1) că formele matematice ale legilor fizicii sunt invariabile în toate sistemele inerțiale; și (2) că viteza luminii în vid este constantă și independentă de sursă sau observator. Reconcilierea cele două postulate necesită o unificare a spațiului și timpului în conceptul dependent de cadru de spațiu-timp.

Relativitatea generală este teoria geometrică a gravitației publicată de Albert Einstein în 1915-1916. Ea unifică relativitatea specială, legea lui Newton a gravitației universale și ideea că gravitația poate fi descrisă de curbura spațiului și timpului. În teoria relativității generale, curbura spațiu-timp este produsă de energia materiei și a radiațiilor.

10.1 Teoria specială a relativității

Teoria specială a relativității a fost inițial propusă de Albert Einstein într-o lucrare publicată la 26 septembrie 1905 intitulată "*Despre electrodinamica corpurilor în mișcare*". Inconsecvența mecanicii newtoniene cu ecuațiile lui Maxwell de electromagnetism și lipsa confirmării experimentale a unui eter luminifer ipotetic au dus la dezvoltarea relativității speciale, care corectează mecanica pentru a face față situațiilor care implică mișcări la o fracțiune semnificativă a vitezei luminii (cunoscută ca viteză relativistă). Astăzi, relativitatea specială este cel mai precis model de mișcare la orice viteză atunci când efectele gravitaționale sunt neglijabile. Chiar și așa, modelul mecanicii newtoniene este încă util (datorită simplității și preciziei sale înalte) ca o aproximare la viteze mici în raport cu viteza luminii.

Înainte de formularea relativității speciale, *Hendrik Lorentz* și alții au remarcat deja că electromagnetismul diferă de fizica newtoniană prin aceea că observațiile unui aceluiși fenomen pot fi diferite pentru o persoană care se deplasează în raport cu altă persoană la viteze apropiate de viteza luminii. De exemplu, una din persoane poate observa că nu există niciun câmp magnetic, în timp ce cealaltă observă un câmp magnetic în aceeași zonă fizică. Lorentz a sugerat o teorie a eterului, în care obiectele și observatorii care călătoresc față de un eter staționar suferă o contracție fizică (*contracția Lorentz-Fitzgerald*) și o modificare a timpului (*dilatarea timpului*). Acest lucru a permis reconcilierea parțială a electromagnetismului cu fizica newtoniană. Când vitezele implicate sunt mult mai mici decât viteza luminii, legile rezultate se simplifică la legile lui Newton. Teoria, cunoscut sub numele de *Teoria Eterului Lorentz*, a fost criticată (chiar și de către Lorentz însuși), din cauza naturii sale neelaborate.

În timp ce Lorentz sugera ecuațiile de transformare Lorentz ca o descriere matematică cu exactitate a rezultatelor măsurătorilor, contribuția lui Einstein a fost de a obține aceste ecuații pornind de la o teorie mai fundamentală. Einstein a vrut să afle ce este invariant (neschimbat) pentru toți observatorii. Titlul său original pentru teoria sa a fost (tradus din germană), este "*Teoria invariantilor*". Max Planck a propus termenul de "relativitate", pentru a sublinia ideea că legile fizicii se schimbă pentru observatori în mișcare unul față de celălalt.

Până când Einstein a dezvoltat relativitatea generală, pentru a încorpora cadre generale (sau accelerate) de referință și gravitație, a fost folosită expresia "relativitate specială". O traducere care a fost adesea folosită este "relativitatea restrânsă"; "special" însemnând într-adevăr un "caz special".

O caracteristică definitorie a relativității speciale este înlocuirea transformărilor galileiene ale mecanicii newtoniene cu transformările Lorentz. Timpul și spațiul nu pot fi definite separat unele de altele. Mai degrabă spațiul și timpul sunt interconectate într-un singur continuum cunoscut sub numele de spațiu-timp. Evenimente care apar simultan pentru un singur observator pot avea loc la momente diferite pentru altul.

Teoria este "specială" prin faptul că se aplică numai în cazul special în care curbura spațiu-timpului datorită gravitației este neglijabilă. Pentru a include gravitația, Einstein a formulat relativitatea generală în 1915. Relativitatea specială, contrar unor descrieri depășite, este capabilă de includerea accelerațiilor, precum și a cadrelor de referință accelerate.

Deoarece relativitatea galileiană este acum considerată o aproximare a relativității speciale care este valabilă pentru viteze reduse, relativitatea specială este considerată o aproximare a relativității generale care este valabilă pentru câmpurile gravitaționale slabe, adică la o scară suficient de mică și în condiții de cădere liberă. În timp ce relativitatea generală încorporează geometria noneuclidiană pentru a reprezenta efectele gravitaționale ca

curbură geometrică a spațiului, relativitatea specială este limitată la spațiu-timpul plat, cunoscut ca spațiul Minkowski. Un cadru local invariant Lorentz care respectă relativitatea specială poate fi definit la scări suficient de mici, chiar și în spațiu-timpul curbat.

Galileo Galilei a afirmat deja că nu există o stare de repaus absolută și bine definită (nu există cadre de referință privilegiate), un principiu numit acum principiul de relativitate al lui Galileo. Einstein a extins acest principiu astfel încât acesta a reprezentat viteza constantă a luminii, fenomen care a fost observat în experimentul Michelson-Morley. El a afirmat, de asemenea, că este valabil pentru toate legile fizicii, inclusiv legile mecanicii și ale electrodinamicii.

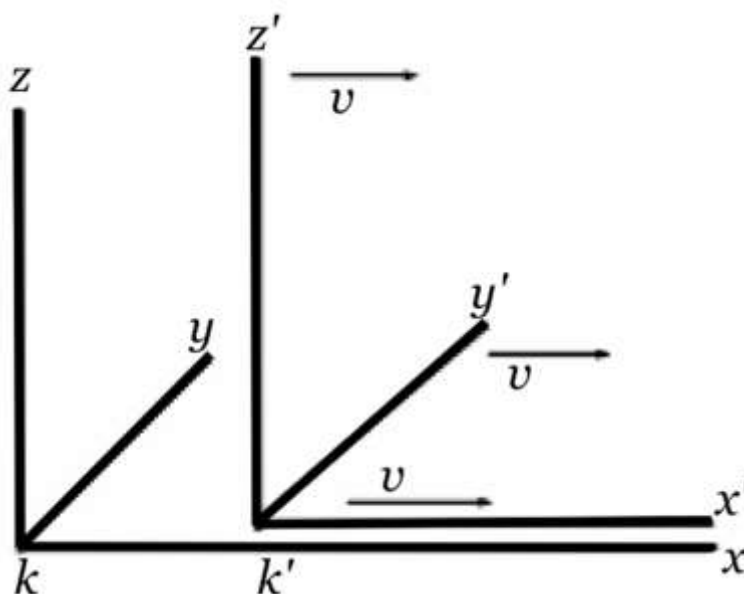
Relativitatea specială se ocupă în principiu cu comportamentul obiectelor și observatorilor care rămân în repaus sau se deplasează cu o viteză constantă. În acest caz, observatorul este declarat a fi într-un *cadru inerțial de referință* sau pur și simplu inerțial. Compararea poziției și timpului evenimentelor înregistrate de observatori inerțiali diferiți se poate face prin utilizarea *ecuațiilor de transformare Lorentz*. O denaturare comună cu privire la relativitate este că se consideră că relativitatea specială nu poate fi folosită pentru a gestiona cazul obiectelor și observatorilor care sunt în accelerare (*cadre de referință non-inerțiale*), dar acest lucru este incorect. De exemplu, problema rachetei relativiste. Relativitatea specială poate prezice corect comportamentul componentelor accelerate atâta timp cât nu este vorba de accelerația gravitațională, în care caz trebuie să fie utilizată relativitatea generală.

Relativitatea specială implică o gamă largă de consecințe, care au fost verificate experimental, inclusiv contracția lungimii, dilatarea timpului, masa relativistă, echivalența masă-energie, o limită de viteză universală, și relativitatea simultaneității. A înlocuit noțiunea convențională de timp absolut universal cu noțiunea de timp dependent de cadrul de referință și de poziția spațială. Mai degrabă decât un interval de timp invariant între două evenimente, există un interval invariant spațiu-timp. În combinație cu alte legi ale fizicii, cele două postulate ale relativității speciale prezic echivalența dintre masă și energie, exprimată în formula de echivalență a energiei de masă $E = mc^2$, unde c este viteza luminii în vid.

10.1.1 Cadre de referință, coordonate și transformarea Lorentz

Cadrelor de referință și mișcarea relativă

Cadrelor de referință joacă un rol crucial în teoria relativității. Termenul de referință utilizat aici este o perspectivă observațională în spațiu care nu suferă nicio schimbare în mișcare (accelerație), din care o poziție poate fi măsurată de-a lungul a 3 axe spațiale. În plus, un cadru de referință are capacitatea de a determina măsurători ale timpului evenimentelor utilizând un "ceas" (orice dispozitiv de referință cu periodicitate uniformă).



Sistemul cu accent se află în mișcare relativă față de sistemul fără accent, cu viteză constantă v numai de-a lungul axei x , din perspectiva unui observator staționar în sistemul fără accent. Din principiul relativității, un observator staționar în sistemul cu accent va vedea o construcție similară cu excepția faptului că viteza pe care o înregistrează va

fi -v. Schimbarea vitezei de propagare a interacțiunii de la infinit în mecanica non-relativistă la o valoare finită va necesita o modificare a evenimentelor de mapare a ecuațiilor de transformare dintr-un cadru la altul.

Un eveniment este o ocurență care poate fi atribuită unui singur timp unic și locație în spațiu față de un cadru de referință: este un "punct" în spațiu. Deoarece viteza luminii este constantă în relativitate în fiecare cadru de referință, impulsurile de lumină pot fi folosite pentru a măsura fără echivoc distanțele și pentru a reveni la momentele în care au apărut evenimentele ceasului, chiar dacă lumina necesită timp pentru a ajunge la ceas după ce evenimentul a apărut.

De exemplu, explozia unei petarde ar putea fi considerată un "eveniment". Putem specifica complet un eveniment prin cele patru coordonate spațiu-timp: Timpul de apariție și locația sa spațială tridimensională definesc un punct de referință. Să numim acest cadru de referință S.

Un cadru de referință inerțial, în fizica clasică, este un cadru de referință în care corpurile, a căror forță netă care acționează asupra lor este zero, nu sunt accelerate; adică sunt în stare de repaus sau se mișcă cu o viteză constantă într-o linie dreaptă. În termeni analitici, este un cadru de referință care descrie timpul și spațiul omogen, izotrop și într-un mod independent de timp. Conceptual, în fizica clasică și relativitatea specială, fizica unui sistem într-un cadru inerțial nu are cauze externe sistemului. Un cadru inerțial de referință poate fi, de asemenea, numit un sistem de referință inerțial, cadru inerțial, cadru de referință galilean sau spațiu inerțial.

Toate cadrele inerțiale sunt într-o stare de mișcare constantă, rectilinie una față de cealaltă; un accelerometru care se mișcă cu oricare dintre ele ar detecta accelerația zero. Măsurătorile într-un cadru inerțial pot fi transformate în măsurători în altul printr-o transformare simplă (transformarea galileană în fizica newtoniană și transformarea lui Lorentz în relativitatea specială). În relativitatea generală, în orice regiune suficient de mică pentru ca curbura spațiului și forțele mareelor să fie neglijabile, se poate găsi un set de cadre inerțiale care descriu aproximativ acea regiune.

Într-un cadru de referință non-inerțial în fizica clasică și relativitatea specială, fizica unui sistem variază în funcție de accelerația aceluia cadru în raport cu un cadru inerțial, iar forțele fizice obișnuite trebuie să fie completate de forțe fictive. Cadrele non-inerțiale în relativitatea generală nu au cauze externe, datorită principiului mișcării geodezice. În fizica clasică, de exemplu, o minge aruncată spre pământ nu merge exact în jos deoarece Pământul se rotește, ceea ce înseamnă că sistemul de referință al unui observator de pe Pământ nu este inerțial. Fizica trebuie să țină cont de efectul Coriolis - în acest caz gândit ca o forță - pentru a anticipa mișcarea orizontală. Un alt exemplu de forță fictivă asociată cu cadrele de referință rotative este efectul centrifugal sau forța centrifugală.

Teoria relativității speciale a lui Einstein, ca și mecanica newtoniană, presupune echivalența tuturor cadrelor de referință inerțiale, dar face o presupunere suplimentară, străină de mecanica newtoniană, și anume că lumina în vid este întotdeauna propagată cu viteza luminii c_0 , independent de direcția sa de propagare și de frecvența sa și, de asemenea, independent de starea de mișcare a corpului emițător. Această a doua ipoteză a fost verificată experimental și conduce la deduceri contra-intuitive incluzând:

- * dilatarea timpului (se deplasează mai încet ceasurile)
- * contracția lungimii (obiectele în mișcare sunt scurtate în direcția mișcării)
- * relativitatea simultaneității (evenimentele simultane într-un cadru de referință nu sunt simultane în toate cadrele care se mișcă în raport cu primul).

Aceste deduceri sunt consecințe logice ale ipotezelor declarate și sunt proprietăți generale ale spațiu-timpului, în mod obișnuit fără a se ține cont de proprietățile ce țin de structura obiectelor individuale, cum ar fi atomii sau stelele, nici de mecanismele ceasurilor.

Aceste efecte sunt exprimate matematic prin transformarea Lorentz, echivalentă cu transformarea Galilean în limita $c_0 \rightarrow \infty$ (un caz ipotetic) sau $v \rightarrow 0$ (viteze mici).

Din această perspectivă, viteza luminii este numai din întâmplare o proprietate a luminii, și este mai degrabă o proprietate a spațiului, un factor de conversie între unitățile convenționale de timp (cum ar fi secunde) și unitățile de lungime (cum ar fi metri).

De altfel, din cauza imposibilității vitezelor mai mari decât viteza luminii, observați că într-un cadru rotativ de referință (care este un cadru non-inerțial, desigur), staționarea nu este posibilă la distanțe arbitrare, deoarece pentru o rază mare obiectul se mișcă mai repede decât viteza luminii.

În teoria relativității, adesea dorim să calculăm poziția unui punct dintr-un punct de referință diferit.

Să presupunem că avem un al doilea cadru de referință S', a cărui axă spațială și ceas coincide exact cu cea a lui S la momentul zero, dar se mișcă la o viteză constantă v în raport cu S de-a lungul axei x .

Deoarece nu există un cadru de referință absolut în teoria relativității, conceptul de "mișcare" nu există strict, deoarece totul se mișcă întotdeauna față de un alt cadru de referință. În schimb, orice două cadre care se mișcă cu aceeași viteză în aceeași direcție se spune că sunt *comobile*. Prin urmare, S și S' nu sunt *comobile*.

11 Mecanica cuantică

11.1 Mecanica cuantică

Mecanica cuantică este știința dimensiunilor foarte mici. Explică comportamentul materiei și interacțiunile ei cu energia pe scara atomilor și a particulelor subatomice. Fizica clasică, dimpotrivă, explică doar materia și energia la o scară familiară experienței umane, inclusiv comportamentul corpurilor astronomice, cum ar fi Luna. Fizica clasică este încă utilizată în majoritatea științei și tehnologiei moderne. Cu toate acestea, spre sfârșitul secolului al XIX-lea, oamenii de știință au descoperit fenomene atât în lumile mari (macro) cât și în cele mici (micro), pe care fizica clasică nu le-a putut explica. Dorința de a rezolva neconcordanțele dintre fenomenele observate și teoria clasică a dus la două revoluții majore în fizică care au creat o schimbare în paradigma științifică originală: teoria relativității și dezvoltarea mecanicii cuantice.

Lumina se comportă în unele aspecte ca particule, și în alte aspecte ca unde. Materia - "conținutul" universului constând din particule cum ar fi electronii și atomii - prezintă și comportamente ondulatorii. Unele surse de lumină, cum ar fi luminile de neon, dau numai anumite frecvențe de lumină. Mecanica cuantică arată că lumina, împreună cu toate celelalte forme de radiații electromagnetice, vine în unități discrete, numite fotoni, și prezice energiile, culorile și intensitățile spectrale. Un singur foton este o *cuantă*, sau cea mai mică magnitudine observabilă a câmpului electromagnetic, deoarece un foton parțial nu a fost niciodată observat. În ansamblu, mecanica cuantică arată că multe cantități, cum ar fi momentul unghiular, care au părut a fi continui în viziunea mecanicii clasice, se dovedesc a fi *cuantificate* (la scara mică a mecanicii cuantice). Momentul unghiular poate lua unul din seturile de valori discrete permise și, din moment ce diferența dintre aceste valori este atât de mică, discontinuitatea este evidentă doar la nivelul atomic.

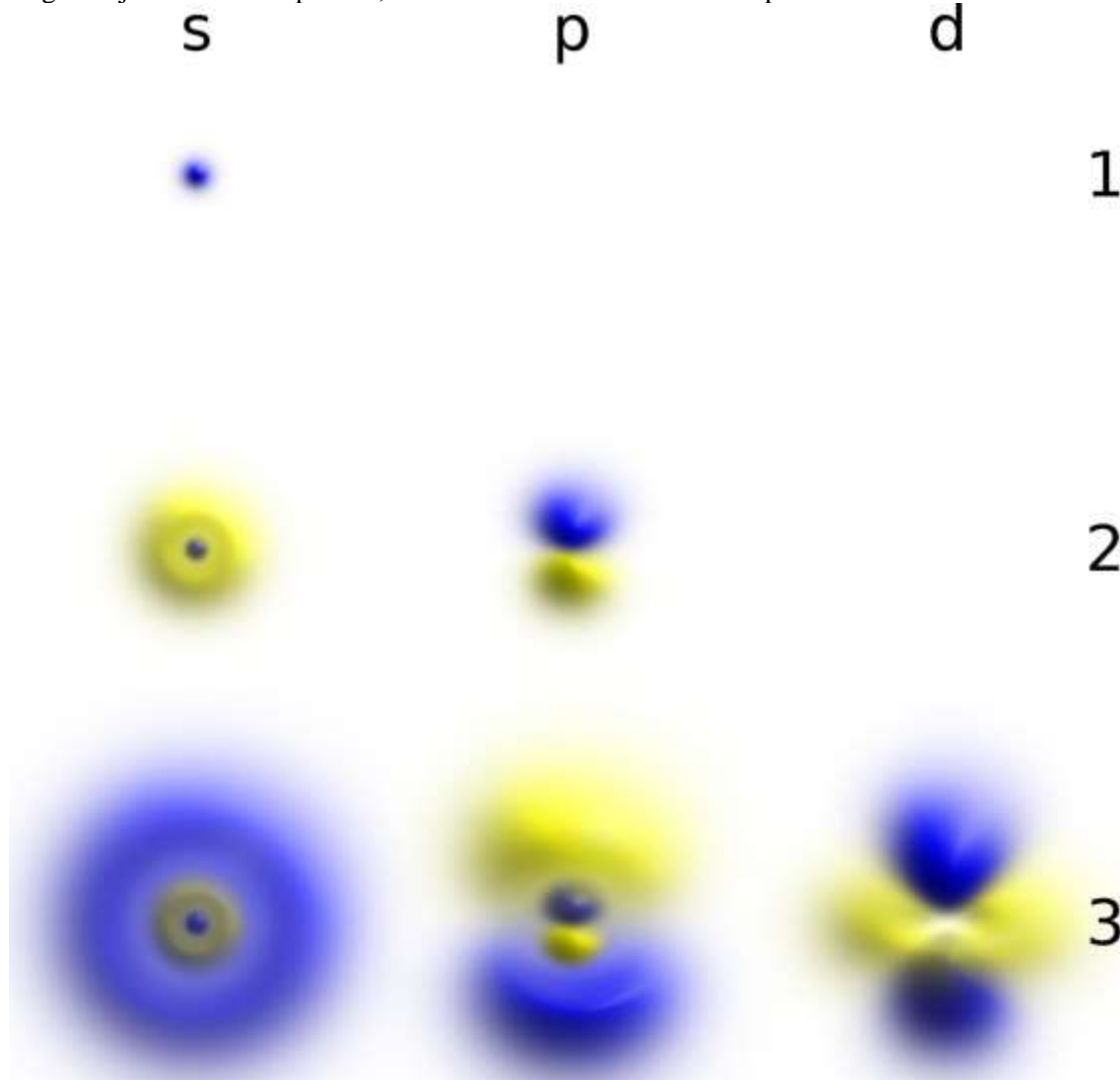
Multe aspecte ale mecanicii cuantice sunt contraintuitive și pot părea paradoxale, deoarece descriu un comportament destul de diferit de cel observat la scale mai mari. În cuvintele fizicianului cuantic Richard Feynman, mecanica cuantică se ocupă de "natură așa cum este ea - absurdă". De exemplu, principiul de incertitudine al mecanicii cuantice arată că, cu cât mai mult exact se face o măsurătoare (cum ar fi poziția unei particule), cu atât mai puțin precisă devine o altă măsurare a aceleiași particule (cum ar fi impulsul).

Când mecanica cuantică a fost formulată inițial, aceasta a fost aplicată la modele a căror limită corespondentă a fost mecanica clasică non-relativistă. De exemplu, cunoscutul model cuantic al oscilatorului armonic folosește o expresie explicit non-relativistă pentru energia cinetică a oscilatorului, și este, astfel, o versiune cuantică a oscilatorului armonic clasic.

Încercări timpurii de a fuziona mecanica cuantică cu relativitatea specială au implicat înlocuirea ecuației Schrödinger cu o ecuație covariantă, cum ar fi ecuația Klein-Gordon sau ecuația Dirac. În timp ce aceste teorii au avut succes în a explica multe rezultate experimentale, au anumite calități nesatisfăcătoare care decurg din neglijarea lor a creării și anihilării de particule relativiste. O teorie cuantică relativistă completă necesită dezvoltarea *teoriei câmpului cuantic*, care aplică cuantificarea unui câmp, mai degrabă decât unui set fix de particule. Prima teorie completă a câmpului cuantic, *electrodinamica cuantică*, oferă o descriere complet relativistă a interacțiunii electromagnetice.

Întregul sistem al teoriei câmpului cuantic este de multe ori ne-necesar pentru a descrie sistemele

electrodinamice. O abordare mai simplă, folosită de la începutul mecanicii cuantice, este de a trata particulele încărcate ca obiecte ale mecanicii cuantice fiind acționate de un câmp electromagnetic clasic. De exemplu, modelul cuantic elementar al atomului de hidrogen descrie câmpul electric al atomului de hidrogen folosind un potențial coulombian clasic $1/r$. Această abordare "semi-clasică" eșuează dacă fluctuațiile cuantice în câmpul electromagnetic joacă un rol important, cum ar fi în emisia de fotoni de particule încărcate.



Densități de probabilitate corespunzătoare funcțiilor de undă ale unui electron într-un atom de hidrogen care posedă nivele energetice definite (crescând de sus în jos în imagine: $n = 1, 2, 3, \dots$) și momentul unghiular (crescând de la stânga la dreapta: s, p, d, ...) Zonele mai dense corespund unei densități de probabilitate mai mari într-o măsurătoare de poziție. Aceste funcții de undă sunt direct comparabile cu cifrele lui Chladni pentru modurile acustice de vibrație în fizica clasică, și sunt moduri de oscilație de asemenea, având o energie îngustă și, astfel, o anumită frecvență. Momentul unghiular și energia sunt cuantificate și iau doar valori discrete precum cele arătate (ca în cazul frecvențelor rezonante în acustică) https://en.wikipedia.org/wiki/File:Atomic-orbital-clouds_spd_m0.png

S-au dezvoltat teorii ale câmpului cuantic pentru forța nucleară tare și forța nucleară slabă. Teoria câmpului cuantic pentru forța nucleară tare este *cromodinamica cuantică* , care descrie interacțiunile particulelor subnucleare, cuarcii și gluonii. Forța nucleară slabă și forța electromagnetică au fost unificate, în formele lor cuantificate, într-o singură teorie a câmpului cuantic cunoscută sub numele de *teoria electroslabă* .

S-a dovedit a fi dificil de construit modele cuantice pentru gravitație, forța fundamentală rămasă. Aproximări semi-clasice sunt viabile, și au condus la predicții, cum ar fi radiatiile Hawking. Cu toate acestea, formularea unei teorii complete a gravitației cuantice este împiedicată de incompatibilități evidente între relativitatea generală, teoria cea mai precisă a gravitației cunoscută în prezent, și unele dintre ipotezele fundamentale ale teoriei cuantice. Rezolvarea acestor incompatibilități este un domeniu de cercetare activ.

Aproximările semi-clasice sunt tehnici care permit să se formuleze o problemă cuantică cu unele cantități

fizice înlocuite cu analogii lor clasici, într-un efort de a reduce complexitatea modelului. Chiar și în mecanica cuantică non-relativistă, un studiu complet microscopic necesită în general calcule numerice pe scară largă. Soluțiile cuantice analitice care descriu comportamentul sistemului în ceea ce privește funcțiile matematice cunoscute, sunt disponibile doar pentru o clasă mică de sisteme, din care oscilatorul armonic și atomul de hidrogen sunt cei mai importanți reprezentanți.

Chiar și atomul de heliu, care conține doar un electron mai mult decât hidrogenul, sfidează toate încercările de tratare complet analitică în mecanica cuantică. Într-o astfel de situație, rezultatele semi-clasice aproximative pot oferi perspective valoroase. Metodele necesare se bazează pe o înțelegere detaliată a mecanicii clasice corespunzătoare, permițând în particular existența haosului. Studiul acestor aproximări face parte din domeniul haosului cuantic.

Mecanica cuantică și fizica clasică

Predicțiile mecanicii cuantice au fost verificate experimental la un grad extrem de ridicat de precizie. Conform principiului corespondenței dintre mecanica clasică și cea cuantică, toate obiectele se supun legilor mecanicii cuantice, iar mecanica clasică este doar o aproximare a sistemelor mari de obiecte (sau o mecanică statistică cuantică a unei mari colecții de particule). Legile mecanicii clasice rezultă astfel din legile mecanicii cuantice ca o medie statistică la limita sistemelor mari sau numere mari cuantice. Cu toate acestea, sistemele haotice nu au numere cuantice bune, iar haosul cuantic studiază relația dintre descrierile clasice și cuantice în aceste sisteme.

Coerența cuantică este o diferență esențială între teoriile clasice și cuantice ilustrate de paradoxul Einstein-Podolsky-Rosen (EPR) - un atac asupra unei anumite interpretări filosofice a mecanicii cuantice printr-un apel la realismul local. Interferențele cuantice implică însumarea împreună a *amplitudinilor de probabilitate*, în timp ce "unde" clasice deduc că există o însumare a *intensităților*. Pentru corpurile microscopice, extensia sistemului este mult mai mică decât lungimea de coerență, ceea ce dă naștere la inseparabilitatea pe distanțe lungi și alte fenomene nelocale caracteristice sistemelor cuantice. Coerența cuantică nu este, de obicei, evidentă la scări macroscopice, deși o excepție de la această regulă poate să apară la temperaturi extrem de scăzute (adică aproape de zero absolut), la care comportamentul cuantic se poate manifesta macroscopic. Acest lucru este în concordanță cu următoarele observații:

* Multe proprietăți macroscopice ale unui sistem clasic sunt o consecință directă a comportamentului cuantic al părților sale. De exemplu, stabilitatea materiei macro (formată din atomi și molecule care vor colapsa rapid doar sub forțele electrice), rigiditatea solidelor și proprietățile mecanice, termice, chimice, optice și magnetice ale materiei, sunt toate rezultatele interacțiunii sarcini electrice conform regulilor mecanicii cuantice.

* În timp ce comportamentul aparent "exotic" al materiei definit de mecanica cuantică și teoria relativității devine mai evident atunci când se ocupă cu particule de dimensiuni extrem de mici sau viteze care se apropie de viteza luminii, legile clasice, adesea considerate "Newtoniene", rămân fizic corecte precizând comportamentul mării majorități a obiectelor "mari" (de ordinul dimensiunii moleculelor mari sau mai mare) la viteze mult mai mici decât viteza luminii.

Interpretarea de la Copenhaga a cinematicii cuantice versus clasice

O mare diferență între mecanica clasică și cea cuantică este că ele folosesc descrieri cinematice foarte diferite.

În viziunea matură a lui Niels Bohr, fenomenele mecanice cuantice trebuie să fie experimentate, cu descrieri complete ale tuturor dispozitivelor pentru măsurătorile de sistem, pregătitoare, intermediare și finale. Descrierile sunt în termeni macroscopici, exprimate în limbaj obișnuit, completate cu conceptele de mecanică clasică. Condiția inițială și cea finală ale sistemului sunt descrise, respectiv, prin valori într-un spațiu de configurare, de exemplu un spațiu de poziție sau un spațiu echivalent, cum ar fi un spațiu de impuls. Mecanica cuantică nu admite o descriere complet precisă, în termeni atât de poziție cât și de impuls, a unei condiții sau "stare" inițială (în sensul clasic al cuvântului) care să susțină o predicție precisă deterministă și cauzală a unei stări finale. În acest sens, susținut de Bohr în scrierile sale mature, fenomenul cuantic este un proces, un pasaj de la starea inițială la cea finală, nu o "stare" instantanee în sensul clasic al acestui cuvânt. Astfel, există două tipuri de procese în mecanica cuantică: staționare și tranzitorii. Pentru un proces staționar, condiția inițială și cea finală sunt aceleași. Pentru o tranziție, ele sunt diferite. Evident, prin definiție, dacă este dată numai condiția inițială, procesul nu este determinat. Dată fiind condiția inițială, predicția condiției sale finale este posibilă, cauzal, dar numai probabilistic, deoarece ecuația lui Schrödinger este deterministă pentru evoluția funcției de undă, dar funcția de undă descrie sistemul doar probabilistic.

Pentru multe experimente, este posibil să se gândească la condițiile inițiale și finale ale sistemului ca fiind o

particulă. În unele cazuri, se pare că există potențial mai multe căi sau traiectorii distincte din punct de vedere spațial, prin care o particulă ar putea trece de la starea inițială la cea finală. Este o caracteristică importantă a descrierii cinematice cuantice că nu permite o afirmație clară unică despre care din aceste căi este de fapt urmată. Doar condițiile inițiale și finale sunt clare, și ele sunt definite doar atât de precis pe cât este permis de descrierea spațiului de configurare sau de echivalentul acestuia. În fiecare caz pentru care este necesară o descriere cinematică cuantică, există întotdeauna un motiv convingător pentru această restricție de precizie cinematică. Un exemplu al unui astfel de motiv este că pentru ca o particulă să fie găsită experimental într-o poziție definită, ea trebuie să fie ținută nemișcată; pentru a fi găsită experimental că are un impuls definit, trebuie să aibă mișcare liberă; aceste două sunt logic incompatibile din punctul de vedere al preciziei simultane.

Cinematica clasică nu cere în primul rând descrierea experimentală a fenomenelor sale. Aceasta permite descrierea complet precisă a unei stări instantanee printr-o valoare în spațiul de fază, produsul cartezian al spațiilor de configurație și impuls. Această descriere pur și simplu presupune sau imaginează o stare ca o entitate fizic existentă fără îngrijorare cu privire la măsurabilitatea sa experimentală. O astfel de descriere a unei condiții inițiale, împreună cu legile de mișcare ale lui Newton, permite o predicție precisă deterministă și cauzală a unei stări finale, cu o traiectorie definită de trecere. Dinamica hamiltoniană poate fi folosită pentru acest lucru. De asemenea, cinematica clasică permite descrierea unui proces analog cu descrierea inițială și finală a condițiilor utilizate de mecanica cuantică. Mecanica lagrangiană se aplică acestui lucru. Pentru procesele care necesită luarea în considerare a acțiunilor unui număr mic de constante Planck, cinematica clasică nu este adecvată; este necesară mecanica cuantică.

Relativitatea generală și mecanica cuantică

Chiar și cu postulatele definitorii ale teoriei lui Einstein a relativității generale și a teoriei cuantice susținute incontestabil de dovezile empirice riguroase și repetate, și în timp ce ele nu se contrazic reciproc direct teoretic (cel puțin în ceea ce privește pretențiile lor primare) sunt dificil de integrat într-un model consistent și coerent.

Gravitația este neglijabilă în multe domenii ale fizicii particulelor, astfel încât unificarea dintre relativitatea generală și mecanica cuantică nu este o problemă urgentă în acele aplicații particulare. Cu toate acestea, lipsa unei teorii corecte a gravitației cuantice este o problemă importantă în cosmologia fizică și căutarea de către fizicieni a unei "teorii finale" (TF) elegante. În consecință, rezolvarea incoerențelor dintre cele două teorii a reprezentat un obiectiv major al fizicii secolului XX și XXI. Mulți fizicieni proeminenți, inclusiv Stephen Hawking, au muncit mulți ani în încercarea de a descoperi o teorie finală care stă la baza tuturor lucrurilor. Această TF nu numai că ar combina diferitele modele de fizică subatomică, ci ar și deriva cele patru forțe fundamentale ale naturii - forța puternică, electromagnetismul, forța slabă și gravitația - din o singură forță sau fenomen. Deși Stephen Hawking a crezut inițial în Teoria Finală, după ce a considerat teorema lui Gödel despre incompletitudine a ajuns la concluzia că nu se poate obține, și a declarat aceasta public în prelegerea "Gödel și sfârșitul fizicii" (2002).

Încercări pentru o teorie a câmpului unificată

Încercarea de a unifica forțele fundamentale prin mecanica cuantică este în curs de desfășurare. Electrodinamica cuantică (sau "electromagnetismul cuantic"), care este în prezent (cel puțin în regim perturbator) cea mai corectă teorie fizică în competiție cu relativitatea generală, a fost cu succes îmbinată cu forța nucleară slabă în forța electroslabă și se lucrează în prezent pentru a îmbina forța electroslabă și forța puternică în forța electroputernică. Predicțiile actuale afirmă că, la aproximativ 10^{14} GeV, cele trei forțe menționate mai sus sunt unite într-un singur câmp unificat. Dincolo de această "mare unificare", se speculează că este posibil să se combine gravitația cu celelalte trei simetrii gauge, care se așteaptă să aibă loc la circa 10^{19} GeV. Cu toate acestea - și în timp ce relativitatea specială este încorporată parcimonios în electrodinamica cuantică - relativitatea generală extinsă, în prezent cea mai bună teorie care descrie forța gravitațională, nu a fost complet încorporată în teoria cuantică. Unul dintre cei care caută o TF coerentă este Edward Witten, un fizician teoretic care a formulat teoria M, care este o încercare de a descrie teoria corzilor bazate pe supersimetrie. Teoria M susține că spațiotimpul nostru aparent 4-dimensional este, în realitate, un spațiotimp de 11 dimensiuni care conține 10 dimensiuni spațiale și o dimensiune temporală, deși 7 dintre dimensiunile spațiale sunt - la energii inferioare - complet "compactizate" (sau infinit curbate) și nu pot fi ușor de măsurat sau de probat.

O altă teorie populară este gravitația cuantică în bucle (GCB), o teorie propusă inițial de Carlo Rovelli care descrie proprietățile cuantice ale gravitației. Este, de asemenea, o teorie a spațiului cuantic și a timpului cuantic, deoarece, în relativitatea generală, geometria spațiotimpului este o manifestare a gravitației. GCB este o încercare de îmbinare și adaptare a mecanicii cuantice standard și a relativității generale standard. Principalul

rezultat al teoriei este o imagine fizică a spațiului în care spațiul este granular. Granularitatea este o consecință directă a cuantizării. Are aceeași natură a granularității fotonilor în teoria cuantică a electromagnetismului sau a nivelelor discrete ale energiei atomilor. Dar aici este spațiul însuși, cel care este discret. Mai precis, spațiul poate fi privit ca o țesătură sau rețea extrem de fin "țesută" de bucle finite. Aceste rețele de bucle sunt numite rețele de spin. Evoluția unei rețele de spin în timp este denumită spumă de spin. Mărimea estimată a acestei structuri este lungimea Planck, care este de aproximativ 1.616×10^{-35} m. Conform teoriei, nu există nicio semnificație pentru lungimi mai scurte decât aceasta (cf. energiei scării Planck). Prin urmare, GCB prezice că nu doar materia, ci și spațiul propriu-zis, are o structură atomică.

Formulări matematice echivalente

Există numeroase formulări matematice echivalente ale mecanicii cuantice. Una dintre cele mai vechi și mai utilizate formulări este "teoria transformării" propusă de Paul Dirac, care unifică și generalizează cele două cele mai vechi formulări ale mecanicii cuantice - mecanica matriceală (dezvoltată de Werner Heisenberg) și mecanica ondulatorie (dezvoltată de Erwin Schrödinger).

Mai ales din momentul în care Werner Heisenberg a primit Premiul Nobel pentru Fizică în 1932 pentru crearea mecanicii cuantice, rolul lui Max Born în dezvoltarea mecanicii cuantice a fost trecut cu vederea până când a primit premiul Nobel din 1954. Rolul său este remarcat într-o biografie din 2005 a lui Born, care îi reiterează importanța în formularea matriceală a mecanicii cuantice și utilizarea amplitudinilor de probabilitate. Heisenberg însuși recunoaște că a învățat matricele de la Born, publicând un *festschrift* din 1940, prin care îl onorează pe Max Planck. În formularea matriceală, starea instantanee a unui sistem cuantic codifică probabilitățile proprietăților sale măsurabile sau "observabile". Exemple de observabile includ energia, poziția, impulsul și momentul unghiular. Observabilele pot fi fie continue (de exemplu, poziția unei particule) sau discrete (de exemplu, energia unui electron legat la un atom de hidrogen). O formulare alternativă a mecanicii cuantice este formularea finală a Feynman, în care o amplitudine mecanică cuantică este considerată ca o sumă peste toate căile posibile clasice și non-clasice între stările inițiale și cele finale. Acesta este omologul cuantic-mecanic al principiului acțiunii în mecanica clasică.

Implicații filosofice

De la începuturi, multe aspecte contra-intuitive și rezultate ale mecanicii cuantice au provocat dezbateri filosofice puternice și multe interpretări. Chiar și probleme fundamentale, cum ar fi regulile de bază ale lui Max Born privind amplitudinile de probabilitate și distribuțiile de probabilități, au necesitat decenii până să fie apreciate de societate și de mulți oameni de știință de vârf. Richard Feynman a spus odată: "Cred că pot spune cu siguranță că nimeni nu înțelege mecanica cuantică". Potrivit lui Steven Weinberg, "Acum, în opinia mea, nu există o interpretare cu totul satisfăcătoare a mecanicii cuantice".

Interpretarea de la Copenhaga - datorată în mare măsură lui Niels Bohr și Werner Heisenberg - rămâne cea mai larg acceptată printre fizicieni, la aproximativ 75 de ani de la pronunțarea sa. Conform acestei interpretări, natura probabilistică a mecanicii cuantice nu este o caracteristică *temporară* care va fi în cele din urmă înlocuită de o teorie deterministă, ci trebuie considerată o renunțare *definitivă* la ideea clasică de "cauzalitate". De asemenea, se crede că orice aplicare bine definită a formalismului mecanic cuantic trebuie să facă întotdeauna referire la aranjamentul experimental, datorită naturii conjugate a probelor obținute în diferite situații experimentale.

Albert Einstein, el însuși unul dintre fondatorii teoriei cuantice, nu a acceptat unele dintre interpretările mai mult filosofice sau metafizice ale mecanicii cuantice, cum ar fi respingerea determinismului și a cauzalității. El este adesea citat spunând, ca răspuns la acest aspect, că "Dumnezeu nu se joacă cu zaruri". A respins conceptul conform căruia starea unui sistem fizic depinde de aranjamentul experimental pentru măsurarea acestuia. A afirmat că o stare a naturii apare în sine, indiferent dacă și cum ar putea fi observată. În această privință, el este susținut de definiția acceptată în prezent a unei stări cuantice, care rămâne invariantă în alegerea arbitrară a spațiului de configurare pentru reprezentarea sa, adică a modului de observare. De asemenea, el a susținut că mecanica cuantică care stă la bază ar trebui să includă o teorie care exprimă în mod temeinic și direct regula împotriva acțiunii la distanță; cu alte cuvinte, el a insistat asupra principiului localității. El a considerat, dar a respins pe motive teoretice, o propunere specială pentru variabilele ascunse pentru a evita indeterminismul sau acuzalitatea măsurării în mecanica cuantică. A considerat că mecanica cuantică era o teorie valabilă, dar nu permanent definitivă, pentru fenomenele cuantice. A considerat că înlocuirea sa viitoare va necesita progrese conceptuale profunde și nu va veni rapid sau ușor. Dezbaterile Bohr-Einstein oferă o critică vibrantă a interpretării de la Copenhaga din punct de vedere epistemologic. În argumentarea opiniilor sale, Einstein a

produs o serie de obiecții, dintre care cea mai faimoasă a devenit cunoscut drept paradoxul Einstein-Podolsky-Rosen.

John Bell a arătat că acest paradox EPR a condus la diferențe testabile experimentale între mecanica cuantică și teoriile care se bazează pe variabile ascunse. Au fost efectuate experimente care confirmă precizia mecanicii cuantice, demonstrând astfel că mecanica cuantică nu poate fi îmbunătățită prin adăugarea de variabile ascunse. Experimentele inițiale ale lui Alain Aspect în 1982 și multe experimente ulterioare au verificat definitiv inseparabilitatea cuantică. La începutul anilor 1980, experimentele au arătat că astfel de inegalități au fost într-adevăr încălcate în practică - astfel că există, de fapt, corelații de tipul celor sugerate de mecanica cuantică. La început, acestea păreau doar ca efecte esoterice izolate, dar până la mijlocul anilor 1990 ele fuseseră codificate în domeniul teoriei informației cuantice și au condus la construcții cunoscute precum criptografia cuantică și teleportarea cuantică.

Inseparabilitatea, așa cum s-a demonstrat în experimentele tip Bell, însă, nu încalcă cauzalitatea, deoarece nu se întâmplă niciun transfer de informații. Inseparabilitatea cuantică formează baza criptografiei cuantice, care este propusă pentru utilizarea în aplicații comerciale de înaltă securitate în domeniile bancar și guvernamental.

Interpretarea multor lumi a lui Everett, formulată în 1956, susține că toate posibilitățile descrise de teoria cuantică apar simultan într-un multivers compus din universuri paralele, în cea mai mare parte independente. Acest lucru nu se realizează prin introducerea unor "noi axiome" în mecanica cuantică, ci dimpotrivă, prin eliminarea axiomei colapsului pachetului de undă. Toate stările consistente posibile ale sistemului măsurat și ale aparatului de măsurare (inclusiv observatorul) sunt prezente într-o realitate fizică - nu doar matematică formală, ca în alte interpretări - o suprapunere cuantică. O astfel de suprapunere a combinațiilor de stări consecvente ale diferitelor sisteme se numește o stare inseparată. În timp ce multiversul este determinist, percepem un comportament non-determinist, guvernat de probabilități, deoarece putem observa doar universul (adică, contribuția constantă a stării la suprapunerea menționată mai sus) în care noi, ca observatori, locuim. Interpretarea lui Everett este în perfectă concordanță cu experimentele lui John Bell și le face inteligibil intuitiv. Totuși, conform teoriei decoerenței cuantice, aceste "universuri paralele" nu vor fi niciodată accesibile pentru noi. Inaccesibilitatea poate fi înțeleasă după cum urmează: odată măsurătoarea efectuată, sistemul măsurat devine inseparat atât cu fizicianul care l-a măsurat, cât și cu un număr mare de alte particule, dintre care unele sunt fotoni care se deplasează la viteza luminii spre celălalt capăt a universului. Pentru a demonstra că funcția de undă nu a colapsat, ar trebui să reintroducereți toate aceste particule și să le măsurați din nou, împreună cu sistemul care a fost măsurat inițial. Nu numai că acest lucru este absolut imposibil, dar chiar dacă teoretic s-ar putea face acest lucru, ar trebui să se distrugă orice dovadă că a avut loc măsurarea inițială (inclusiv memoria fizicianului). În lumina acestor teste Bell, Cramer (1986) a formulat interpretarea sa tranzacțională, care este unică în furnizarea unei explicații fizice pentru regula Born. Mecanica cuantică relațională a apărut la sfârșitul anilor 1990 ca derivată modernă a interpretării de la Copenhaga.

12 Perspective în Fizică

12.1 Probleme rezolvate recent în fizică

Ultimii ani au fost o perioadă bogată în realizări pentru fizică. Printre acestea, cele mai importante sunt următoarele:

Originea **exploziei radiațiilor gama** (1993-2017): Din fuziunea stelelor neutronice binare, producerea unei explozii kilonova și a unei explozii de raze gamma scurte GRB 170817A au fost detectate atât în undele electromagnetice, cât și în undele gravitaționale GW170817.

Problema barionului lipsă (1998-2017): Proclamată ca rezolvată în octombrie 2017, cu barionii lipsă localizați în gazul intergalactic fierbinte.

Existența **cristalelor temporale** (2012-2016): În 2016, ideea de cristale temporale a fost propusă de două grupuri, independent de Khemani și colab. și Else și colab. Ambele grupuri au arătat că în sistemele mici, care sunt dezordonate și periodice în timp, se poate observa fenomenul cristalelor temporale. Norman Yao și colab. a extins calculele pentru un model (care are aceleași caracteristici calitative) în mediul de laborator. Acesta a fost apoi folosit de două echipe, un grup condus de Christopher Monroe de la Universitatea din Maryland și un grup condus de Mikhail Lukin la universitatea din Harvard, care au fost capabili să arate dovezi ale cristalelor temporale în laborator, arătând că, pentru perioade scurte de timp sistemele au prezentat dinamica similară celei prognozate.

Existența **undelor gravitaționale** (1916-2016): La 11 februarie 2016, echipa avansată LIGO a anunțat că au detectat direct undele gravitaționale de la o pereche de găuri negre care fuzionează, ceea ce a fost și prima detectare a unei găuri negre binare stelare.

Efectuarea unui **experiment de testare Bell fără ambiguitate** (1970-2015): În octombrie 2015, oamenii de știință de la Institutul Kavli de Nanoștiință au raportat că fenomenul nonlocalității cuantice este susținut la un nivel de încredere de 96%, bazat pe un studiu "test Bell fără ambiguități". Aceste rezultate au fost confirmate de două studii cu semnificație statistică peste 5 abateri standard care au fost publicate în decembrie 2015.

Existența **pentacuarilor** (1964-2015): În iulie 2015, colaborarea LHCb la CERN a identificat pentacuarci, care reprezintă dezintegrarea barionului lambda inferior într-un mezon, un kanon și un proton. Rezultatele au arătat că uneori, în loc să se descompună direct în mezoni și baryoni, a apărut o dezintegrare prin stări de pentacuar intermediare. Cele două stări au semnificații statistice individuale și o semnificație combinată suficientă pentru a pretinde o descoperire formală. Cele două stări de pentacuar s-au observat că se dezintegrează puternic, deci trebuie să aibă un conținut de cuarci valenți de doi cuarci **u**, un cuarc **d**, un cuarc **c** și un anti-cuarc **c**, rezultând pentacuarci quarkonium.

Criza de subproducție a fotonului (2014-2015): această problemă a fost rezolvată de Khaire și Srianand. Ei arată că o rată de fotoionizare metagalactică de 2 până la 5 ori mai mare poate fi obținută cu ușurință folosind observațiile actualizate ale quasrilor și galaxiilor. Observațiile recente ale quasrilor indică faptul că contribuția lor la fotoni ultraviolet este un factor de 2 mai mare decât estimările anterioare. Contribuția revizuită a galaxiei este un factor de 3 mai mare. Acestea împreună rezolvă criza.

Existența **fulgerului globular** (1638-2014): În ianuarie 2014, oamenii de știință de la Universitatea Normală

de Nord-Vest din Lanzhou, China, au publicat rezultatele înregistrărilor făcute în iulie 2012 a spectrului optic a ceea ce se credea că este un fulger natural globular apărut în timpul studiului fulgerelor obișnuite de nor pe platoul Qinghai din China. La o distanță de 900 m, au fost filmat digital timp de 1,3 secunde fulgerul globular și spectrul său de frecvențe, de la formarea fulgerului globular după fulgerul obișnuit, până la dispariția optică a fenomenului. Se consideră că fulgerul globular înregistrat se datorează unor elemente vaporizate la sol care apoi se oxidează rapid în atmosferă. Natura adevăratei teorii nu este încă clară.

Bosonul Higgs și ruperea simetriei electroslab (1963-2012): Mecanismul responsabil pentru ruperea simetriei ecartamentului electroslab, care dă masa bosonilor W și Z , a fost rezolvat prin descoperirea bosonului Higgs al Modelului Standard, cu cuplajele așteptate pentru bosonii slabi. Nu a fost observată nicio dovadă a unei soluții puternice dinamice, așa cum a fost propusă de teoriile tehnicilor.

Anomalia Hipparcos (1997-2012): Satelitul de colectare de înaltă precizie pentru paralaxă (Hipparcos) a măsurat paralaxa Pleiadei și a determinat o distanță de 385 ani lumină. Acest lucru a fost semnificativ diferit de alte măsurători făcute prin măsurarea efectivă a aparentei luminozității sau a mărimii absolute. Anomalia s-a datorat utilizării unei medii ponderate atunci când există o corelație între distanțele și erorile de distanță pentru stelele din clustere. S-a rezolvat prin utilizarea unei medii ponderate. Nu există o înclinație sistematică pentru datele Hipparcos atunci când vine vorba de clustere de stele.

Anomalia neutrinelor cu viteze mai mari decât a luminii (2011-2012): În 2011, experimentul OPERA a observat în mod eronat că neutrinii se deplasează mai repede decât lumina. Pe 12 iulie 2012 OPERA și-a actualizat lucrarea prin includerea noilor surse de erori în calculele lor. Au găsit un acord între viteza neutrinelor și viteza luminii.

Anomalia Pioneer (1980-2012): A existat o abatere în accelerațiile previzionate ale navei spațiale Pioneer în momentul în care a părăsit sistemul solar. Se crede că acest lucru este un rezultat al forței de reflux termică care nu a fost înregistrată anterior.

Soluție numerică pentru **gaura neagră binară** (1960 - 2005): Soluția numerică a problemei celor două corpuri în relativitatea generală a fost obținută după patru decenii de cercetare. În 2005 (anus mirabilis pentru relativitatea numerică), atunci când trei grupuri au elaborat tehnicile de studiu.

Exploziile cu raze gama de lungă durată (1993-2003): Exploziile de durată lungă sunt asociate cu moartea unor stele masive într-un eveniment specific de tipul supernovelor denumit în mod obișnuit un colapsar. Cu toate acestea, există și explozii cu raze gamma cu durată lungă care prezintă dovezi împotriva unei supernove asociate, cum ar fi evenimentul Swift GRB 060614.

Problema neutrinelor solari (1968-2001): Rezolvată de o nouă înțelegere a fizicii neutrinelor, care necesită o modificare a modelului standard al fizicii particulelor - în special, oscilația neutrinelor.

Crearea **condensului Bose-Einstein** (1924-1995): Bosonii compoziți sub formă de vapori atomici diluați au fost răciți la degenerarea cuantică utilizând tehnicile de răcire cu laser și răcire prin evaporare.

Problema vârstei cosmice (1920-1990): Vârsta estimată a universului a fost cu aproximativ 3 până la 8 miliarde de ani mai mică decât estimările vârstelor celor mai vechi stele din Calea Lactee. O estimare mai bună a distanțelor față de stele și recunoașterea expansiunii acceleratoare a universului a reconciliat estimările de vârstă.

Natura **quasarilor** (anii 1950-1980): Natura quasarilor nu a fost înțeleasă de zeci de ani. Acestea sunt acum acceptate ca un tip de galaxie activă în care producerea enormă de energie rezultă din faptul că materia cade într-o gaură neagră masivă în centrul galaxiei.

Unele dintre problemele majore nerezolvate în fizică sunt teoretice, ceea ce înseamnă că teoriile existente par incapabile să explice un anumit fenomen observat sau un rezultat experimental. Celelalte sunt experimentale, ceea ce înseamnă că există o dificultate în crearea unui experiment pentru a testa o teorie propusă sau pentru a investiga mai detaliat un fenomen.

Există încă unele deficiențe în modelul standard al fizicii, cum ar fi originea masei, problema puternică a simetriei sarcină-paritate, oscilațiile neutrinelor, asimetria materiei-antimaterie și natura materiei întunecate și a energiei întunecate. O altă problemă se află în cadrul matematic al modelului standard însuși - modelul standard este incompatibil cu cel al relativității generale, până la punctul în care una sau ambele teorii se descompun în anumite condiții (de exemplu, în singularitățile spațiului cunoscut, cum ar fi Big Bang și centrele de găuri negre dincolo de orizontul evenimentului).

12.2 Probleme nerezolvate în fizică

Unele dintre problemele majore nerezolvate în fizică sunt teoretice, ceea ce înseamnă că teoriile existente par incapabile să explice un anumit fenomen observat sau un rezultat experimental. Celelalte sunt experimentale,

cea ce înseamnă că există o dificultate în crearea unui experiment pentru a testa o teorie propusă sau pentru a investiga mai detaliat un fenomen.

Există încă unele deficiențe în Modelul standard al fizicii, cum ar fi originea masei, problema puternică a simetriei sarcină-paritate (CP), oscilațiile neutrinilor, asimetria materiei-antimaterie și natura materiei întunecate și a energiei întunecate. O altă problemă se află în cadrul matematic al Modelului standard însuși - Modelul standard este inconsistent cu cel al relativității generale, până la punctul în care una sau ambele teorii nu mai sunt valabile în anumite condiții (de exemplu, în singularitățile spațiului cunoscut cum ar fi Big Bang și centrele găurilor negre dincolo de orizontul evenimentului).

12.2.1 Fizica generală și mecanica cuantică

Săgeata timpului (de exemplu, săgeata de timp a entropiei):

- De ce are timpul o direcție?
- De ce universul a avut o entropie atât de scăzută în trecut, și timpul se corelează cu creșterea universală (dar nu locală) a entropiei, din trecut și spre viitor, conform celei de-a doua lege a termodinamicii?
- De ce sunt observate încălcările simetriei sarcină-paritate (CP) în anumite dezintegrări de forță slabă, dar nu și în altă parte?
- Sunt încălcările simetriei sarcină-paritate (CP) un fel de produs al celei de-a doua Legi a termodinamicii sau sunt o săgeată separată a timpului?
- Există excepții de la principiul cauzalității?
- Există un singur trecut posibil?
- Momentul prezent este fizic distinct de trecut și viitor sau este doar o proprietate emergentă a conștiinței?
- Ce legătură există între săgeata cuantică a timpului și săgeata termodinamică?

Interpretarea mecanicii cuantice:

- Cum dă naștere realității pe care o percepem descrierea mecanicii cuantice a realității, care include elemente cum ar fi suprapunerea stărilor și colapsul funcției de undă sau decoerența cuantică?
- altă modalitate de a prezenta această întrebare privește problema de măsurare: Ce reprezintă o "măsurare" care aparent face ca funcția de undă să colapseze într-o stare definită?
- Spre deosebire de procesele fizice clasice, unele procese mecanice cuantice (cum ar fi teleportarea cuantică rezultată din entanglementul cuantic) nu pot fi simultan "locale", "cauzale" și "reale", dar nu este clar care din aceste proprietăți trebuie să fie sacrificate, sau dacă o încercare de a descrie procesele mecanice cuantice în aceste sensuri este o eroare de categorie, astfel încât o înțelegere adecvată a mecanicii cuantice ar face ca problema să nu mai aibă sens.

Teoria Marii Unificări/Teoria întregului:

- Există o teorie care explică valorile tuturor constantelor fizice fundamentale?
- Există o teorie care explică de ce grupurile de ecartament (gauge) ale modelului standard sunt așa cum sunt și de ce spațiul observat are 3 dimensiuni spațiale și 1 dimensiune temporală?
- Variaza "constantele fizice fundamentale" în timp?
- Sunt oricare dintre particulele fundamentale din Modelul standard al fizicii particulelor, de fapt, particule compozite prea strâns legate pentru a le observa ca atare la energiile experimentale curente?
- Există particule fundamentale care nu au fost încă observate și, dacă da, care sunt acestea și care sunt proprietățile lor?
- Există forțe fundamentale neobservate?

Teoria lui Yang-Mills:

- Având în vedere un grup arbitrar de ecartament (gauge) compact, există o teorie non-trivială Yang-Mills cu un decalaj de masă finit? Această problemă este, de asemenea, enumerată ca una dintre Problemele Premiilor Mileniului în matematică.

Informații fizice:

- Există fenomene fizice, cum ar fi colapsul funcțiilor de undă sau găurile negre, care distrug irevocabil informațiile referitor la starea lor anterioară?

- Cum se păstrează informațiile cuantice ca o stare a unui sistem cuantic?

Constanta fizică fără dimensiuni:

- În prezent, valorile constantelor fizice fără dimensiuni nu pot fi calculate; ele sunt determinate numai prin măsurători fizice. Care este numărul minim de constante fizice dimensionale din care pot fi derivate toate celelalte constante fizice fără dimensiuni?

Este nevoie de constante fizice dimensionale?

Un univers ajustat fin:

- Valorile constantelor fizice fundamentale sunt într-un interval îngust necesare pentru a susține viața pe bază de carbon. Se întâmplă aceasta deoarece există și alte universuri cu constante diferite, sau constantele universului nostru sunt rezultatul unei șanse sau a altui factor sau proces?

Anexe

Anexa A1 Sisteme de măsură

În fizică și metrologie, unitățile sunt standarde pentru măsurarea cantităților fizice care au nevoie de definiții clare pentru a fi utile. Reproducibilitatea rezultatelor experimentale este esențială pentru metoda științifică. Pentru a facilita acest lucru, avem nevoie de standarde, precum și pentru a obține măsuri convenabile ale standardelor avem nevoie de un sistem de unități. Sistemele științifice de unități sunt o formalizare a conceptului de măsuri și greutăți, dezvoltat inițial în scopuri comerciale.

Diferite sisteme de unități sunt bazate pe diferite opțiuni ale unui set de unități fundamentale. Sistemul de unități cel mai utilizat pe scară largă este sistemul internațional, sau sistemul SI, de unități derivate din cele șapte unități SI fundamentale. Toate celelalte unități SI pot fi derivate din aceste unități de bază.

Alte sisteme de unități care au fost utilizate în diverse scopuri includ:

- sistemul de unități centimetru-gram-secundă
- unitățile Planck
- unitățile din SUA
- unitățile imperiale
- unitățile chineze

Scara fizicii

Pentru a atinge obiectivele în oricare dintre diferitele domenii ale științelor naturii și ale ingineriei, este necesară o fundamentare temeinică în legile fizicii. Motivul pentru aceasta este pur și simplu că legile fizicii guvernează totul în universul observabil la toate scările măsurabile de lungime, masă și timp. Acum, pentru a înțelege ceea ce înseamnă cu adevărat, trebuie să facem o evaluare cantitativă. Deci, înainte de a studia diferitele scale pe care fizica ne permite să le explorăm, să analizăm mai întâi conceptul de "ordine de mărime", pe care îl folosim pentru a concilia cu gamele largi de lungime, masă și timp pe care le considerăm în acest text (Figura 1.3).

Ordin de mărime

Ordinul de mărime a unui număr este puterea lui 10 care se apropie cel mai mult de el. Astfel, ordinul de mărime se referă la scara (sau mărimea) unei valori. Fiecare putere a lui 10 reprezintă un ordin de mărime diferit. De exemplu, 10^1 , 10^2 , 10^3 și așa mai departe, sunt toate ordine de mărime diferite, așa cum sunt $10^0 = 1$, 10^{-1} , 10^{-2} și 10^{-3} . Pentru a găsi ordinul de mărime a unui număr, luați logaritmul în bază 10 al numărului și rotunjiți-l la cel mai apropiat număr întreg, atunci ordinul de mărime a numărului este pur și simplu puterea rezultată a lui 10. De exemplu, ordinul de mărime al lui 800 este 10^3 deoarece $\log_{10}800 \approx 2,903$, care se apropie de 3. În mod similar, ordinul de mărime al lui 450 este tot 10^3 , deoarece $\log_{10}450 \approx 2,653$, care rotunjit este tot 3. Astfel, spunem că numerele 800 și 450 sunt de același ordin de mărime: 10^3 . Cu toate acestea, ordinul de mărime al lui 250 este 10^2 , deoarece $\log_{10}250 \approx 2,397$, care se rotundește la 2.

O modalitate echivalentă dar mai rapidă de a găsi ordinul de mărime al unui număr este mai întâi să îl scrieți în notație științifică și apoi să verificați dacă primul factor este mai mare sau mai mic decât $\sqrt{10} = 10^{0,5} \approx 3$. Ideea este că $\sqrt{10} = 10^{0,5}$ este la jumătatea distanței între $1 = 10^0$ și $10 = 10^1$ pe o scară de bază 10 a logaritmului. Astfel, dacă primul factor este mai mic decât $\sqrt{10}$, atunci îl rotunjim la 1 și ordinul de mărime este pur și simplu orice putere a lui 10 necesară pentru a scrie numărul în notația științifică. Pe de altă parte, dacă primul factor este mai mare de $\sqrt{10}$, atunci îl rotunjim până la 10, iar ordinul de mărime este o putere a lui 10 mai mare decât puterea necesară pentru a scrie numărul în notația științifică. De exemplu, numărul 800 poate fi scris în notație științifică în forma 8×10^2 . Pentru că 8 este mai mare decât $\sqrt{10} = 10^{0,5} \approx 3$, spunem că ordinul de mărime al lui 800 este $10^{2+1} = 10^3$.

Numărul 450 poate fi scris ca $4,5 \times 10^2$, deci ordinul său de mărime este de asemenea 10^3 deoarece 4,5 este mai mare decât 3. Dar 250 scris în notație științifică este $2,5 \times 10^2$ și 2,5 este mai mic decât 3, deci ordinul său de mărime este 10^2 .

Ordinul de mărime al unui număr este concepută să fie o estimare brută a scalei (sau mărimii) valorii sale. Este pur și simplu o modalitate de rotunjire a cifrelor în mod consecvent la cea mai apropiată putere a lui 10. Aceasta face mai ușoară efectuarea de matematici mintale cu numere foarte mari și foarte mici. De exemplu, diametrul unui atom de hidrogen este de ordinul a 10^{-10} m, în timp ce diametrul Soarelui este de ordinul a 10^9 m, deci ar fi nevoie de aproximativ $10^9/10^{-10} = 10^{19}$ atomi de hidrogen pentru a se întinde de-a lungul diametrului Soarelui. Acest lucru este mult mai ușor de făcut în cap decât prin folosirea valorilor mai precise de $1,06 \times 10^{-10}$ m pentru un diametru al atomului de hidrogen și de $1,39 \times 10^9$ m pentru diametrul Soarelui, pentru a constata că ar fi nevoie de $1,31 \times 10^{19}$ atomi de hidrogen pentru a se întinde de-a lungul diametrului Soarelui. Pe lângă faptul că este mai ușor, estimarea brută este, de asemenea, aproape la fel de informativă ca și calculul precis.

Intervale cunoscute de lungime, masă și timp

Imensitatea universului și amploarea intervalelor în care se aplică fizica sunt ilustrate de o gamă largă de exemple de lungimi, mase și timpuri cunoscute (date ca ordine de mărime) din Figura 1.4. Examinarea acestui tabel vă va oferi o idee pentru o gamă de posibile subiecte din fizică, cu valori numerice. O modalitate bună de a aprecia amploarea intervalelor de valori din Figura 1.4 este de a încerca să răspundem la câteva întrebări comparative simple, cum ar fi următoarele:

- Câți atomi de hidrogen pot intra în diametrul Soarelui?
(Răspuns: $10^9 \text{ m}/10^{-10} \text{ m} = 10^{19}$ atomi de hidrogen)
- Câți protoni există într-o bacterie?
(Răspuns: $10^{-15} \text{ kg}/10^{-27} \text{ kg} = 10^{12}$ protoni)
- Câte operațiuni cu virgulă mobilă poate efectua un supercomputer în 1 zi?
(Răspuns: $10^5 \text{ s}/10^{-17} \text{ s} = 10^{22}$ operațiuni cu virgulă mobilă)

Cartea

Un compendiu care se dorește a fi exhaustiv pentru domeniul fizicii, cu accent pe explicarea fenomenelor și aplicațiilor practice. O carte pentru studiul personal, concisă și ușor de citit, care clarifică aceste teorii ale fizicii, cel mai important domeniu al științei pe care se bazează toate celelalte abordări teoretice și explicații ale fenomenelor științifice.

”Lumina” este o introducere în fenomenologia opticii geometrice, fizice și cuantice, și a teoriei culorilor în conexiune cu teoriile fundamentale ale luminii. Despre proprietățile luminii, absorbția și emisiile luminii.

”Fizica atomică și nucleară” abordează, pe lângă cele două enomene din titlu, radioactivitatea, fizica particulelor, fisiunea, fuziunea și energia nucleară. Conținutul oferă o perspectivă modernă a domeniului, simultan cu o retrospectivă istorică a dezvoltării sale cu accent pe explicațiile fizice ale fenomenelor, ocurența naturală, măsurare, și utilizarea practică a fenomenelor respective.

”Relativitatea” include cele două mari teorii dezvoltate de Albert Einstein, teoria relativității speciale și relativitatea generală, cu ecuațiile lui Einstein, unde ”spațiu-timpul spune materiei cum să se miște, iar materia spune spațiu-timpului cum să se curbeze.”

”Mecanica cuantică” este o introducere la nivel fenomenologic, cu un aparat matematic minimal, în mecanica cuantică, un ghid pentru cine dorește să înțeleagă cea mai modernă, mai complexă și mai neconformă disciplină fizică, un domeniu care a schimbat fundamental percepțiile oamenilor de știință despre Lume.

Ultimele două capitole prezintă cele mai noi descoperiri științifice din domeniul fizicii și problemele rămase încă fără răspuns (”Perspective”), și o introducere în sisteme de măsurare și lucrul cu vectori (”Anexe”)

ISBN general: 978-606-033-185-8

Fizica fenomenologică - Compendiu - Volumul 1: <https://www.setthings.com/ro/e-books/fizica-fenomenologica-compdium-volumul-1/>

Ediția MultiMedia Publishing <https://www.setthings.com/ro/e-books/fizica-fenomenologica-compdium-volumul-2/>

- Digital: EPUB, 79 MB sau 14 MB (ISBN 978-606-033-212-1), Kindle, 26 MB sau 4 MB (ISBN 978-606-033-211-4), PDF, 47 MB (ISBN 978-606-033-213-8)

- Tipărit, Format A4, coperti cartonate, 650 pagini: ISBN 978-606-033-210-7

PREVIZUALIZARE:

Smashwords (EPUB): <https://www.smashwords.com/books/view/930500>

Google (EPUB, PDF): <https://books.google.ro/books?id=H5KODwAAQBAJ>

eMag.ro (Tipărit, PDF): <https://www.emag.ro/fizica-fenomenologica-compdium-volumul-2-nicolae-sfetcu-pdf-pbro156p/pd/DFM8WZBBM/>

Facebook: <https://www.facebook.com/FizicaFenomenologica/>

Cuprins

8 Lumina

- 8.1 Proprietățile luminii
 - 8.1.1 Unde electromagnetice
 - 8.1.1.1 Viteza undelor electromagnetice
 - 8.1.2 Spectrul electromagnetic
 - 8.1.3 Materiale transparente
 - 8.1.4 Materiale opace (Opacitatea)
 - 8.1.5 Umbra
 - 8.1.6 Sistemul vizual uman (Ochiul)
 - 8.1.7 De ce este apusul de Soare roșu?
 - 8.1.8 De ce sunt norii colorați?
 - 8.1.9 Ce culoare are apa?
- 8.2 Culori
 - 8.2.1 Reflexia selectivă (Culoarea unui obiect)
 - 8.2.2 Transmiterea selectivă (Transparența și translučența)
 - 8.2.3 Amestecul luminii colorate (Amestecul culorilor)
 - 8.2.4 Culori complementare
 - 8.2.5 Amestecul pigmentilor colorați (Pigmenți)
 - 8.2.6 De ce e cerul albastru?
- 8.3 Reflexia și refracția (Optica geometrică)
 - 8.3.1 Reflexia
 - 8.3.2 Principiul timpului cel mai scurt (Principiul lui Fermat)
 - 8.3.3 Legea reflexiei
 - 8.3.4 Oglinzi plane (Oglinzi)
 - 8.3.5 Reflexia difuză
 - 8.3.6 Refracția
 - 8.3.7 Mirajul
 - 8.3.8 Dispersia
 - 8.3.9 Curcubeul
 - 8.3.10 Reflexia internă totală
 - 8.3.11 Lentile
 - 8.3.11.1 Formarea imaginilor prin lentile
 - 8.3.11.2 Defecte ale lentilelor
- 8.4 Undele luminoase (Optica fizică)
 - 8.4.1 Principiul Huygens–Fresnel
 - 8.4.2 Difracția luminii
 - 8.4.3 Interferența optică
 - 8.4.4 Interferența pe straturi subțiri
 - 8.4.5 Polarizarea

- 8.4.6 Vederea tridimensională (Percepția în adâncime)
- 8.4.7 Holografia
- 8.5 Emisia luminii (Surse de lumină)
- 8.5.1 Excitarea (Stări excitate)
- 8.5.2 Spectrul de emisie al luminii
- 8.5.3 Incandescența
- 8.5.4 Spectrul de absorbție (Spectroscopia de absorbție)
- 8.5.5 Fluorescența
- 8.5.6 Lămpi fluorescente
- 8.5.7 Fosforescența
- 8.5.8 LED
- 8.5.9 Lămpi cu LED
- 8.5.10 Laser
- 8.5.11 Extreme Light Infrastructure (ELI)
- 8.6 Cuanta de lumină (Fotoni)
- 8.6.1 Nașterea teoriei cuantice (Optica cuantică)
- 8.6.2 Cuantificarea și constanta lui Planck
- 8.6.3 Efectul fotoelectric
- 8.6.4 Dualitatea undă-particulă
- 8.6.5 Experimentul celor două fante
- 8.6.6 Difracția electronilor
- 8.6.7 Principiul incertitudinii
- 8.6.8 Complementaritatea
- 9 Fizica atomică și nucleară
- 9.1 Atomul și cuanta
- 9.1.1 Descoperirea nucleului atomic
- 9.1.2 Descoperirea electronului
- 9.1.3 Spectroscopia atomică - Linii spectrale
- 9.1.4 Modelul Bohr al atomului
- 9.1.5 Mărimea relativă a atomilor (Raza atomilor)
- 9.1.6 Nivele energetice cuantificate: Undele electronilor
- 9.1.7 Mecanica cuantică
- 9.1.8 Principiul corespondenței
- 9.2 Nucleul atomic și radioactivitatea
- 9.2.1 Razele X
- 9.2.2 Radiații alfa, beta și gama
- 9.2.3 Nucleul atomic
- 9.2.4 Forțe nucleare
- 9.2.5 Izotopi
- 9.2.6 De ce sunt radioactivi atomii? (Dezintegrarea radioactivă)
- 9.2.7 Timpul de înjumătățire (Dezintegrarea radioactivă)
- 9.2.8 Detectoare de radiații (Detectoare de particule)
- 9.2.9 Transmutarea elementelor (Transmutarea nucleară)
- 9.2.10 Transmutarea naturală (Transmutarea în univers)
- 9.2.11 Transmutarea artificială (Transmutarea artificială a deșeurilor nucleare)
- 9.2.12 Izotopi radioactivi (Radionuclizi)
- 9.2.13 Datarea radiometrică
- 9.2.14 Datarea cu carbon (Datarea cu radiocarbon)
- 9.2.15 Datarea cu uraniu
- 9.2.16 Efectele radiațiilor asupra oamenilor
- 9.2.17 Dozarea radiațiilor
- 9.3 Fizica particulelor
- 9.3.1 Particule elementare (Modelul Standard)
- 9.3.2 Extensii ale Modelului Standard
- 9.3.3 Protoni
- 9.3.4 Neutroni
- 9.3.5 Electroni

- 9.3.6 Cuarci
- 9.3.7 Fotoni
- 9.3.8 Gluoni
- 9.3.9 Bosoni W și Z
- 9.3.10 Neutrini
- 9.3.11 Fizica acceleratoarelor
- 9.4 Fisiunea și fuziunea nucleară
- 9.4.1 Fisiunea nucleară
- 9.4.2 Reactoare de fisiune nucleară (Reactoare nucleare)
- 9.4.3 Reactoare nucleare cu apă grea presurizată - CANDU
- Reactorul CANDU
- Centrala Nucleară de la Cernavodă
- 9.4.4 Plutoniu
- 9.4.5 Reactoare nucleare reproducătoare
- 9.4.6 Energia de fisiune (Energia nucleară)
- Centrale nucleare
- Energia nucleară în România
- 9.4.7 Echivalența masă-energie în reacțiile nucleare
- 9.4.8 Fuziunea nucleară
- 9.4.9 Controlul fuziunii (Energia de fuziune)
- 10 Relativitatea
- 10.1 Teoria specială a relativității
- 10.1.1 Cadre de referință, coordonate și transformarea Lorentz
- 10.1.2 Experimentul Michelson-Morley pentru confirmarea eterului
- 10.1.3 Postulatele teoriei speciale a relativității
- 10.1.4 Simultaneitatea (Relativitatea simultaneității)
- 10.1.5 Spațiu-timp
- 10.1.6 Dilatarea timpului
- 10.1.7 Paradoxul gemenilor
- 10.1.8 Însurubirea vitezelor
- 10.1.9 Călătoriile în cosmos
- 10.1.10 Contractia lungimii
- 10.1.11 Impulsul relativist (Cvadri-impuls)
- 10.1.12 Echivalența masă-energie ($E = mc^2$)
- 10.1.13 Masa în relativitatea specială
- 10.1.14 Cauzalitatea și imposibilitatea depășirii vitezei luminii
- 10.1.15 Principiul corespondenței
- 10.2 Teoria relativității generale
- Ecuațiile lui Einstein
- 10.2.1 Principiul echivalenței
- 10.2.2 Dilatarea gravitațională a timpului
- 10.2.3 Curbarea luminii de către gravitație (Lentile gravitaționale)
- 10.2.4 Desplasarea gravitațională spre roșu
- 10.2.5 Mișcarea lui Mercur (Precesia periheliului lui Mercur)
- 10.2.6 Gravitația, spațiul și o nouă geometrie (Geometria și gravitația)
- 10.2.7 Unde gravitaționale
- 10.2.8 Gravitația lui Newton și cea a lui Einstein
- 11 Mecanica cuantică
- 11.1 Mecanica cuantică
- 11.1.1 Radiația corpului negru și cuantificarea lui Planck
- 11.1.2 Unde materiale - Relațiile de Broglie
- 11.2 Dualitatea undă-particulă
- 11.2.1 Microscopul lui Heisenberg
- 11.2.2 Disputa Einstein-Bohr
- 11.2.3 Experimentul alegerii întârziate
- 11.3 Ecuația de undă Schrödinger
- 11.3.1 Stări cuantice

- 11.3.2 Funcția de undă
- 11.3.3 Colapsul funcției de undă
- 11.3.4 Interpretarea probabilităților (Problema măsurătorilor)
- 11.3.5 Formularea spațiului de fază
- 11.4 Pachete de unde
- 11.4.1 Aplicații ale relației de inertitudine
- 11.4.1.1 Relația de incertitudine timp-energie
- 11.4.1.2 Paradoxurile lui Zenon în mecanica cuantică
- 11.4.2 Funcții proprii
- 11.4.3 Operatorul impuls
- 11.4.4 Forma generală a ecuației Schrodinger: Operatorul hamiltonian
- 11.4.5 Postulatele mecanicii cuantice și semnificația măsurătorilor
- 11.5 Soluții ale ecuației Schrödinger
- 11.5.1 Particulă într-o cutie unidimensională
- 11.5.2 Barieră rectangulară de potențial
- 11.5.3 Puț de potențial finit
- 11.5.4 Paritatea
- 11.5.5 Oscilatorul armonic unidimensional
- 11.5.6 Operatorul momentului unghiular
- 11.5.6.1 Relația de incertitudine dintre momentul unghiular și unghiul de rotație
- 11.5.7 Particule identice
- 11.5.8 Potențialul central (Potențialul cuantic)
- 11.5.9 Puțul de potențial
- 11.6 Paradoxuri și interpretări ale mecanicii cuantice
- 11.6.1 Inseparabilitatea cuantică
- 11.6.2 Paradoxurile mecanicii cuantice
- 11.6.3 Paradoxul EPR
- 11.6.4 Interpretarea Copenhaga
- 11.6.5 Variabile ascunse
- 11.6.6 Paradoxul pisicii lui Schrödinger
- 11.6.7 Interpretarea ansamblului (statistică)
- 11.6.8 Interpretarea multiplelor lumi
- 11.7 Stările cuantice conform lui Dirac
- 11.7.1 Ecuația de undă Dirac
- 11.7.2 Notăția bra-ket în mecanica cuantică
- 11.8 Corespondența cu mecanica clasică
- 11.8.1 Ecuația de mișcare a lui Heisenberg (Reprezentările Heisenberg, Schrödinger și Dirac)
- 11.8.2 Teorema Ehrenfest și limita clasică a mecanicii cuantice
- 11.8.3 Aproximarea WKB
- 11.8.4 Teorema adiabatică
- 11.9 Momentul unghiular și spinul
- 11.9.1 Momentul unghiular
- 11.9.2 Spin și matrice
- 11.9.3 Mecanica matriceală
- 11.9.3.1 Particule cu spin în câmp magnetic: Rezonanța magnetică nucleară
- 11.9.3.2 Precesia spinului în câmp magnetic (Rezonanța paramagnetică a electronilor)
- 11.9.4 Cuplarea momentelor unghiulare
- 11.9.5 Principiul de excluziune Pauli
- 11.9.6 Starea singlet și paradoxul EPR
- 11.9.7 Teorem Bell
- 11.9.8 Inegalitatea Bell
- 11.10 Materia cuantică
- 11.10.1 Atomul de hidrogen
- 11.10.1.1 Atomul de hidrogen în interpretarea de la Copenhaga
- 11.10.2 Structura fină a hidrogenului
- 11.10.3 Interacția spin-orbită
- 11.10.4 Explicația cuantică a tabelului periodic al elementelor

- 11.10.5 Structura moleculelor
- 11.10.6 Condensat Bose-Einstein și condensat fermionic
- 11.10.7 Gazul Fermi și gazul Bose
- 11.11 Perturbații
- 11.11.1 Metode de aproximare pentru stări staționare
- 11.11.2 Efectul Stark
- 11.11.3 Teoria perturbației dependente de timp
- 11.11.4 Perturbația periodică: Regula de aur a lui Fermi
- 11.11.5 Teoria dispersiei. Aproximarea Born.
- 11.11.6 Amplitudinea de împrăștiere
- 11.12 Teoria cuantică a câmpului
- 11.12.1 Electrodinamica cuantică
- 11.12.2 Efectul Zeeman
- 11.12.3 Efectul Aharonov-Bohm
- 11.12.4 Cuantizarea fluxului magnetic
- 11.12.5 Filosofia macrealismului și SQUID
- 11.13 Modelul standard
- 11.13.1 Cromodinamica cuantică
- 11.14 Gravitația cuantică
- 11.14.1 Gravitația cuantică în bucle
- 11.14.2 Teoria corzilor
- 11.14.3 Teoria finală
- 11.15 Filosofia și interpretările mecanicii cuantice
- 11.15.1 Interpretări ale mecanicii cuantice
- 11.15.2 Măsurători în mecanica cuantică
- 11.15.3 Matricea de densitate
- 11.15.4 Interpretarea Von Neumann–Wigner
- 12 Perspective în fizică
- 12.1 Probleme rezolvate recent în fizică
- 12.2 Probleme nerezolvate în fizică
- Anexe
- Anexa A1 Sisteme de măsură
- Anexa A2 Vectori

Despre autor

Nicolae Sfetcu

Asociat și manager MultiMedia SRL și Editura MultiMedia Publishing.
Partener cu MultiMedia în mai multe proiecte de cercetare-dezvoltare la nivel național și european
Coordonator de proiect European Teleworking Development Romania (ETD)
Membru al Clubului Rotary București Atheneum
Cofondator și fost președinte al Filialei Mehedinți al Asociației Române pentru Industrie Electronica și Software Oltenia
Inițiator, cofondator și președinte al Asociației Române pentru Telucru și Teleactivități
Membru al Internet Society
Cofondator și fost președinte al Filialei Mehedinți a Asociației Generale a Inginerilor din România
Inginer fizician - Licențiat în fizică, specialitatea Fizică nucleară. Masterand în Istoria și filosofia științei.

Contact

Email: nicolae@sfetcu.com
Skype: nic01ae

Facebook/Messenger: <https://www.facebook.com/nicolae.sfetcu>
Twitter: <http://twitter.com/nicolae>
LinkedIn: <http://www.linkedin.com/in/nicolaesfetcu>
YouTube: <https://www.youtube.com/c/NicolaeSfetcu>

De același autor

Alte cărți scrise sau traduse de același autor:

- A treia lege a lui Darwin - O parodie reală a societății actuale (RO)
- Ghid Marketing pe Internet (RO)
- Bridge Bidding - Standard American Yellow Card (EN)
- Telucru (Telework) (RO)
- Harta politică - Dicționar explicativ (RO)
- Beginner's Guide for Cybercrime Investigators (EN)
- How to... Marketing for Small Business (EN)

- London: Business, Travel, Culture (EN)
- Fizica simplificată (RO)
- Ghid jocuri de noroc - Casino, Poker, Pariuri (RO)
- Ghid Rotary International - Cluburi Rotary (RO)
- Proiectarea, dezvoltarea și întreținerea siturilor web (RO)
- Facebook pentru afaceri și utilizatori (RO)
- Întreținerea și repararea calculatoarelor (RO)
- Corupție - Globalizare - Neocolonialism (RO)
- Traducere și traducători (RO)
- Small Business Management for Online Business - Web Development, Internet Marketing, Social Networks (EN)
- Sănătate, frumusețe, metode de slăbire (RO)
- Ghidul autorului de cărți electronice (RO)
- Editing and Publishing e-Books (EN)
- Pseudoștiință? Dincolo de noi... (RO)
- European Union Flags - Children's Coloring Book (EN)
- Totul despre cafea - Cultivare, preparare, rețete, aspecte culturale (RO)
- Easter Celebration (EN)
- Steagurile Uniunii Europene - Carte de colorat pentru copii (RO)
- Paști (Paște) - Cea mai importantă sărbătoare creștină (RO)
- Moartea - Aspecte psihologice, științifice, religioase, culturale și filozofice (RO)
- Promovarea afacerilor prin campanii de marketing online (RO)
- How to Translate - English Translation Guide in European Union (EN)
- ABC Petits Contes (Short Stories) (FR-EN), par Jules Lemaître
- Short WordPress Guide for Beginners (EN)
- ABC Short Stories - Children Book (EN), by Jules Lemaître
- Procesul (RO), de Franz Kafka
- Fables et légendes du Japon (Fables and Legends from Japan) (FR-EN), par Claudius Ferrand
- Ghid WordPress pentru începători (RO)
- Fables and Legends from Japan (EN), by Claudius Ferrand
- Ghid Facebook pentru utilizatori (RO)
- Arsène Lupin, gentleman-cambrioleur (Arsene Lupin, The Gentleman Burglar) (FR-EN), par Maurice Leblanc
- How to SELL (eCommerce) - Marketing and Internet Marketing Strategies (EN)
- Arsène Lupin, The Gentleman Burglar (EN), by Maurice Leblanc
- Bucharest Tourist Guide (Ghid turistic București) (EN-RO)
- Ghid turistic București (RO)
- Ghid WordPress pentru dezvoltatori (RO)
- French Riviera Tourist Guide (Guide touristique Côte d'Azur) (EN-FR)
- Guide touristique Côte d'Azur (FR)
- Ghid pagini Facebook - Campanii de promovare pe Facebook (RO)
- Management, analize, planuri și strategii de afaceri (RO)
- Guide marketing Internet pour les débutants (FR)
- Gambling games - Casino games (EN)
- Death - Cultural, philosophical and religious aspects (EN)
- Indian Fairy Tales (Contes de fées indiens) (EN-FR), by Joseph Jacobs
- Contes de fées indiens (FR), par Joseph Jacobs
- Istoria timpurie a cafelei (RO)
- Londres: Affaires, Voyager, Culture (London: Business, Travel, Culture) (FR-EN)
- Cunoaștere și Informații (RO)
- Poker Games Guide - Texas Hold 'em Poker (EN)
- Gaming Guide - Gambling in Europe (EN)
- Crăciunul - Obiceiuri și tradiții (RO)
- Christmas Holidays (EN)

- Introducere în Astrologie (RO)
- Psihologia mulțimilor (RO), de Gustave Le Bon
- Anthologie des meilleurs petits contes français (Anthology of the Best French Short Stories) (FR-EN)
- Anthology of the Best French Short Stories (EN)
- Povestea a trei generații de fermieri (RO)
- Web 2.0 / Social Media / Social Networks (EN)
- The Book of Nature Myths (Le livre des mythes de la nature) (EN-FR), by Florence Holbrook
- Le livre des mythes de la nature (FR), par Florence Holbrook
- Misterul Stelelor Aurii - O aventură în Uniunea Europeană (RO)
- Anthologie des meilleures petits contes françaises pour enfants (Anthology of the Best French Short Stories for Children) (FR-EN)
- Anthology of the Best French Short Stories for Children (EN)
- O nouă viață (RO)
- A New Life (EN)
- The Mystery of the Golden Stars - An adventure in the European Union (Misterul stelelor aurii - O aventură în Uniunea Europeană) (EN-RO)
- ABC Petits Contes (Scurte povestiri) (FR-RO), par Jules Lemaître
- The Mystery of the Golden Stars (Le mystère des étoiles d'or) - An adventure in the European Union (Une aventure dans l'Union européenne) (EN-FR)
- ABC Scurte povestiri - Carte pentru copii (RO), de Jules Lemaitre
- Le mystère des étoiles d'or - Une aventure dans l'Union européenne (FR)
- Poezii din Titan Parc (RO)
- Une nouvelle vie (FR)
- Povestiri albastre (RO)
- Candide - The best of all possible worlds (EN), by Voltaire
- Șah - Ghid pentru începători (RO)
- Le papier peint jaune (FR), par Charlotte Perkins Gilman
- Blue Stories (EN)
- Bridge - Sisteme și convenții de licitație (RO)
- Retold Fairy Tales (Povești repovestite) (EN-RO), by Hans Christian Andersen
- Povești repovestite (RO), de Hans Christian Andersen
- Legea gravitației universale a lui Newton (RO)
- Eugenia - Trecut, Prezent, Viitor (RO)
- Teoria specială a relativității (RO)
- Călătorii în timp (RO)
- Teoria generală a relativității (RO)
- Contes bleus (FR)
- Sunetul fizicii - Acustica fenomenologică (RO)
- Teoria relativității - Relativitatea specială și relativitatea generală (RO), de Albert Einstein
- Fizica atomică și nucleară fenomenologică (RO)
- Louvre Museum - Paintings (EN)
- Materia: Solide, Lichide, Gaze, Plasma - Fenomenologie (RO)
- Căldura - Termodinamica fenomenologică (RO)
- Lumina - Optica fenomenologică (RO)
- Poems from Titan Park (EN)
- Mecanica fenomenologică (RO)
- Solaris (Andrei Tarkovsky): Umanitatea dezumanizată (RO)
- De la Big Bang la singularități și găuri negre (RO)
- Schimbări climatice - Încălzirea globală (RO)
- Electricitate și magnetism - Electromagnetism fenomenologic (RO)
- Știința - Filosofia științei (RO)
- La Platanie - Une aventure dans le monde à deux dimensions (FR)
- Climate Change - Global Warming (EN)
- Poèmes du Parc Titan (FR)

- Mecanica cuantică fenomenologică (RO)
- Isaac Newton despre acțiunea la distanță în gravitație - Cu sau fără Dumnezeu? (RO)
- The singularities as ontological limits of the general relativity (EN)
- Distincția dintre falsificare și respingere în problema demarcației la Karl Popper (RO)
- Buclele cauzale în călătoria în timp (RO)
- Epistemologia serviciilor de informații (RO)
- Evoluția și etica eugeniei (RO)
- Filosofia tehnologiei blockchain - Ontologii (RO)
- Imre Lakatos: Euristică și toleranța metodologică (RO)
- Controversa dintre Isaac Newton și Robert Hooke despre prioritatea în legea gravitației (RO)
- Singularitățile ca limite ontologice ale relativității generale (RO)
- Filmul Solaris, regia Andrei Tarkovsky – Aspecte psihologice și filosofice (RO)
- Tehnologia Blockchain - Bitcoin (RO)

Editura

MultiMedia Publishing

*web design, comerț electronic, alte aplicații web * internet marketing, seo, publicitate online, branding *
localizare software, traduceri engleză și franceză * articole, tehnoredactare computerizată, secretariat *
prezentare powerpoint, word, pdf, editare imagini, audio, video * conversie, editare și publicare cărți tipărite
și electronice, isbn*

Tel./ WhatsApp: 0040 745 526 896

Email: office@multimedia.com.ro

MultiMedia: <http://www.multimedia.com.ro/>

Online Media: <https://www.setthings.com/>

Facebook: <https://www.facebook.com/multimedia.srl/>

Twitter: <http://twitter.com/multimedia>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/multimedia-srl/>