

Cleopatra Gherbanovschi

Nicolae Gherbanovschi

# FIZICĂ

manual pentru clasa a XII-a

**F1**

- filiera *teoretică*, profil *real*,  
specializarea *matematică-informatică* și *științe ale naturii*
- filiera *vocațională*, profil *militar MAPN*,  
specializarea *matematică-informatică*



NICULESCU

<b>1. Teoria relativității restrânse</b>	
1.1. Bazele experimentale ale teoriei relativității restrânse .....	4
1.1.1. Relativitatea clasică .....	4
1.1.2. Experimentul Michelson și Morley ...	6
1.2. Postulatele teoriei relativității restrânse. Transformările Lorentz .....	9
1.3. Elemente de cinematică și dinamică relativistă .....	12
1.3.1. Cinematica relativistă. Consecințele cinemactice ale transformărilor Lorentz .....	12
1.3.2. Compunerea vitezelor .....	15
1.3.3. Principiul fundamental al dinamicii	17
1.3.4. Relația masă-energie .....	19
<b>2. Elemente de fizică cuantică</b>	
2.1. Efectul fotoelectric extern .....	28
2.1.1. Legile efectului fotoelectric extern ..	28
2.1.2. Interpretarea legilor efectului fotoelectric extern .....	30
2.1.3. Ipoteza lui Planck. Ipoteza lui Einstein. Ecuația lui Einstein .....	31
2.1.4. Aplicații ale dispozitivelor optoelectronice .....	34
2.2. Efectul Compton* .....	35
2.3. Dualismul undă-corpusul .....	39
2.4. Ipoteza de Broglie. Difrakția electronilor. Aplicații .....	40
<b>3. Fizică atomică</b>	
3.1. Spectre .....	48
3.1.1. Spectroscopul cu prismă .....	48
3.2. Experimentul Rutherford. Modelul planetar al atomului .....	51
3.2.1. Experimentul Rutherford .....	51
3.2.2. Modelul planetar al atomului .....	52
3.3. Modelul Bohr .....	54
3.3.1. Cuantificarea distanțelor electronului față de nucleu ( $r_n$ ), a vitezelor lui pe orbita circulară ( $v_n$ ), a impulsului ( $p_n$ ) și a energiei totale ( $E_n$ ) .....	56
3.3.2. Seriile spectrale ale hidrogenului și ale atomilor hidrogenoizi .....	59
3.4. Experimentul Franck-Hertz .....	62
3.5. Atomul cu mai mulți electroni* .....	63
3.6. Radiațiile X .....	66
3.7. Efectul LASER* .....	68
<b>4. Semiconductoare. Aplicații în electronică</b>	
4.1. Conducția electrică în metale. Semiconductoare intrinseci și extrinseci .....	76
4.1.1. Semiconductoare intrinseci .....	79
4.1.2. Semiconductoare extrinseci .....	80
4.2. Dioda semiconductoare. Redresarea curentului alternativ .....	82
4.2.1. Joncțiunea $p-n$ nepolarizată .....	82
4.2.2. Dioda semiconductoare. Definiție și proprietăți electrice generale .....	83
4.2.3. Fenomene fizice în dioda semiconductoare în regim de conducție .....	88
4.2.4. Redresarea curentului alternativ .....	90
4.2.5. Redresorul monoalternanță .....	91
4.2.6. Redresorul dublă alternanță .....	93
4.2.7. Redresoare cu multiplicare de tensiune .....	95
4.2.8. Stabilizator de tensiune cu diodă Zener .....	96
4.3. Tranzistorul cu efect de câmp (TEC)* .....	99

\* Teme destinate claselor cu 3 ore pe săptămână la disciplina Fizică.

4.3.1. Tranzistorul cu efect de câmp cu joncțiuni (TEC-J)* .....	100
4.3.2. Tranzistoare cu efect de câmp (TEC) cu poartă izolată* .....	102
4.3.3. Polarizarea pentru TEC în montaj amplificator* .....	106
4.3.4. Tranzistorul bipolar cu joncțiuni p-n* .....	108
4.4. Circuite integrate* .....	111

## 5. Fizică nucleară

5.1. Proprietăți generale ale nucleului .....	118
5.2. Energia de legătură a nucleului. Stabilitatea nucleului .....	120
5.2.1. Forțe nucleare. Energia de legătură a nucleului .....	120
5.2.2. Stabilitatea nucleului .....	122
5.2.3. Modelarea structurii nucleului .....	123
5.3. Radioactivitatea. Legile dezintegrării radioactive .....	125
5.3.1. Radioactivitatea naturală .....	125
5.3.2. Legile dezintegrării radioactive .....	127
5.3.3. Reacții nucleare .....	130
5.3.4. Legi de conservare în reacțiile nucleare .....	132
5.4. Interacția radiației nucleare cu substanța. Detectia radiațiilor nucleare. Dozimetrie ...	137
5.4.1. Radiații formate din particule încărcate electric .....	137
5.4.2. Interacția radiațiilor formate din particule neutre cu substanța .....	139

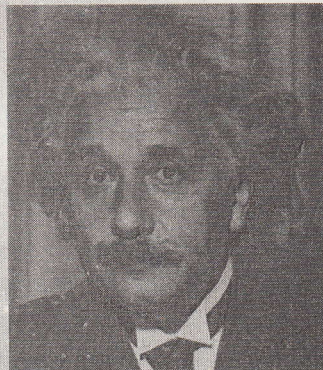
5.4.3. Detectia radiațiilor nucleare .....	141
5.4.4. Dozimetrie .....	144
5.4.5. Iradierea naturală și iradierea artificială .....	146
5.5. Fiziunea nucleară. Reactorul nuclear .....	150
5.5.1. Fiziunea .....	150
5.5.2. Reacția în lanț. Masa critică .....	151
5.5.3. Reactorul nuclear .....	153
5.6. Fuziunea nucleară .....	158
5.6.1. Fuziunea .....	158
5.6.2. Reactorul cu fuziune .....	159
5.7. Acceleratoare de particule* .....	161
5.7.1. Acceleratorul liniar cu electroni de accelerare (LINAC)* .....	161
5.7.2. Betatronul* .....	163
5.7.3. Ciclotronul* .....	166
5.8. Particule elementare* .....	169
5.8.1. Interacțiile fundamentale* .....	169
5.8.2. Caracteristicile comune ale particulelor elementare* .....	171
5.8.3. Scurt istoric* .....	174
5.8.4. Radiația cosmică* .....	176
5.8.5. Radiația cosmică de fond* .....	177

## Anexe

Sistemul periodic al elementelor .....	184
Proprietățile particulelor elementare .....	190
Constante atomice uzuale .....	192
Prezentarea biografică a unor fizicieni laureați ai Premiului Nobel, menționați în manual .....	193
Indicații și răspunsuri .....	200
Bibliografie .....	206

\* Teme destinate claselor cu 3 ore pe săptămână la disciplina Fizică.

## Teoria relativității restrânse



- 1.1. Bazele experimentale ale teoriei relativității restrânse
  - 1.1.1. Relativitatea clasică
  - 1.1.2. Experiența lui Michelson și Morley
- 1.2. Postulatele teoriei relativității restrânse.  
Transformările Lorentz
- 1.3. Elemente de cinematică și dinamică relativistă
  - 1.3.1. Cinematica relativistă. Consecințele cinematice ale transformărilor Lorentz
  - 1.3.2. Compunerea vitezelor
  - 1.3.3. Principiul fundamental al dinamicii
  - 1.3.4. Relația masă-energie

Unele lecții pot fi asistate de calculator folosind site-ul:  
<http://science.howstuffworks.com/relativity.htm>



## Teoria relativității restrânse

### 1.1. Bazele experimentale ale teoriei relativității restrânse

#### 1.1.1. Relativitatea clasică

În teoria relativității clasice toate sistemele de referință inerțiale (SRI) sunt echivalente între ele în raport cu fenomenele mecanice. După cum știm din clasa IX-a, acest fapt se exprimă în cadrul teoriei respective prin aceea că ecuațiile mecanicii clasice sunt *invariante*, adică rămân neschimbate față de transformările Galilei (TG).

Reamintim că prin transformările Galilei se înțelege grupul de relații de transformare a mărimilor cinematice (coordonate, viteze, accelerații), care caracterizează mișcările particulelor, la trecerea dintr-un SRI (sistem de referință inerțial) în altul<sup>1</sup> în cadrul relativității clasice.

Se consideră două SRI (fig. 1.1) notate cu  $S$  și  $S'$ . Orientarea axelor este aleasă, spre simplificare, astfel încât vectorul  $\vec{V}$  care definește mișcarea uniformă a lui  $S'$  în raport cu  $S$  să fie orientat în lungul axei  $Ox$  comune,  $\vec{V}(V, 0, 0)$ ; atunci TG se retranscriu în următoarele forme particulare (s-a ales ca origine a timpului momentul când  $O'$  trece prin  $O$ ):

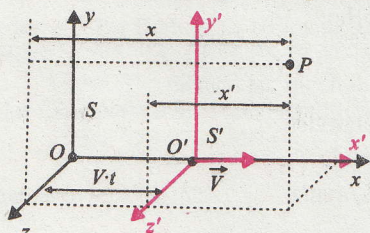


Fig. 1.1. Două sisteme de referință inerțiale  $S$  și  $S'$ .

$$r = \vec{r}' + \vec{V} \cdot t \quad \begin{cases} x = x' + Vt \\ y = y' \\ z = z' \\ t = t' \end{cases} \quad (1.1)$$

respectiv:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V} \quad \begin{cases} v_x = v'_x + V \\ v_y = v'_y \\ v_z = v'_z \end{cases}$$

<sup>1</sup> În manualul de clasa a IX-a,  $\vec{v}$  era viteza absolută notată cu  $\vec{v}_a$ ,  $\vec{v}'$  – viteza relativă notată cu  $\vec{v}_r$  – și  $\vec{V}$  – viteza de transport notată cu  $\vec{v}_t$ .

$$\vec{a} = \vec{a}'; a_x = a'_x, a_y = a'_y, a_z = a'_z.$$

Odată cu apariția teoriei electromagnetismului, elaborată de J.C. Maxwell în anul 1863, s-a constatat că legile de bază ale fenomenelor electromagnetice nu sunt invariante față de transformările Galilei, fapt susținut prin următorul argument experimental.

Să considerăm două SRI notate cu  $S$  și  $S'$ , cu axele paralele,  $S'$  mișcându-se față de  $S$  cu viteza  $\vec{V}(V, 0, 0)$ ; ca în figura 1.1. O sursă de lumină (în electromagnetism numită undă electromagnetică transversală), aflată în repaus în  $S$ , emite în vid un semnal luminos care se propagă cu viteza  $v = c$  în lungul axei  $Ox$ .

Viteza semnalului luminos față de  $S'$  ar trebui să fie calculată cu relația de transformare galileeană  $v_x = v'_x + V$  având forma  $c' = c - V$ . Experiențele de tipul celor ale lui Michelson și Morley, din anul 1887, au arătat însă că viteza semnalului luminos față de  $S'$  este tot  $c$ , adică  $c' = c$ .

Pentru a înlătura, în termeni relativști clasici, contradicția între electrodinamică și mecanică, la sfârșitul secolului XIX au fost concepute două teorii care presupuneau că:

- fenomenele electromagnetice au loc într-un mediu deosebit, numit eter universal, care umple tot spațiul inclusiv interiorul corpurilor;
- la descrierea fenomenelor electromagnetice trebuie considerat, ca sistem de referință, eterul universal.

1. Prima teorie, cea a lui Heinrich Hertz, afirma că eterul universal este total antrenat de corpurile în mișcare astfel că viteza de propagare a luminii în vid este aceeași față de orice corp, indiferent de sensul de mișcare uniformă a acestuia. Teoria lui Hertz rămânea însă în cadrul concepției clasice newtoniene despre spațiu și timp. Ca atare, Hertz a trebuit să rescrie legile câmpului electromagnetic într-o astfel de formă încât, aplicând transformările lui Galilei, formularea lor să fie aceeași în toate sistemele de referință inerțiale.

2. A doua teorie, formulată de Lorentz în anul 1904, presupune că eterul este imobil, constituind un sistem de referință deosebit, preferențial, în care legile electromagnetismului au forma dată de Maxwell (în anul 1863). Astfel, numai în acest sistem viteza luminii în vid are valoarea:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s,}$$

aceeași în toate direcțiile.

Fizica experimentală trebuia să decidă care dintre aceste două teorii era valabilă.

În continuare se va descrie un experiment cu un rol crucial în elaborarea teoriei relativității einsteiniene.

## 1.1.2. Experimentul Michelson și Morley

Respect pentru oameni și cărți

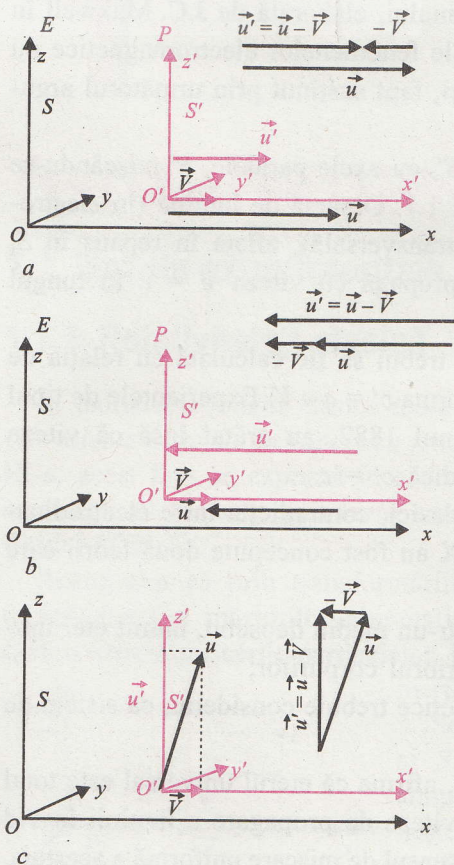


Fig. 1.2. Cele trei cazuri de compunere a vitezelor pentru înțelegerea experienței lui Michelson și Morley.

În cazul 3, lumina care se propagă în sistemul S' pe direcția O'z' are viteza  $u' = u - \vec{V}$  și în modul (fig. 1.2, c):

$$u' = \sqrt{c^2 - V^2} = c \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

Pentru a pune în evidență aceste viteze diferite de propagare a luminii pe direcții diferite față de Pământ, pentru a dovedi mișcarea Pământului față de mediul ipotetic aflat în repaus – suport material al propagării luminii – numit eter, Michelson și Morley au folosit un interferometru. Schema instalației experi-

Pentru început este necesar să efectuăm câteva calcule referitoare la raționamentele pe care s-a bazat experiența fizicianului american A. A. Michelson (laureatul Premiului nobel pentru fizică – 1907), realizată în anul 1881 și reluată în 1887 împreună cu E. W. Morley.

Dacă viteza luminii ( $\vec{u}$ ) are o anumită valoare față de sistemul de referință absolut – eterul –, atunci, față de Pământ, sistem considerat că se deplasează cu viteza de translație  $\vec{V}$  față de „eter”, viteza luminii ( $\vec{u}'$ ) va suferi mici variații care depind de sensul de deplasare a luminii și a Pământului în spațiul absolut, conform relației de compunere a vitezelor în mecanica clasică<sup>1</sup>:  $\vec{u} = \vec{u}' + \vec{V}$ . Să considerăm sistemul de referință S legat de eter și sistemul S', Pământul, care se deplasează cu viteza  $\vec{V}$  față de S pe direcția Ox (fig. 1.2, a), în trei cazuri:

În cazul 1, lumina care se propagă pe direcția Ox, de la O spre x, are în sistemul S viteza  $\vec{u}$  de modul c, iar în sistemul S' viteza  $\vec{u}' = \vec{u} - \vec{V}$ , de modul  $u' = c - V$ .

În cazul 2, lumina se deplasează pe direcția Ox, de la x la O, viteza de deplasare în sistemul O' este  $\vec{u}' = \vec{u} - \vec{V}$  și în modul  $u' = c + V$  (fig. 1.2, b).

<sup>1</sup> S-a folosit pentru scrierea relației de compunere a vitezelor a lui Galilei,  $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}$  relația scrisă cu simbolurile folosite de Michelson, adică  $\vec{u}$  pentru  $\vec{v}$  și  $\vec{u}'$  pentru  $\vec{v}'$ .

mentale este redată în figura 1.3, a. Experiența se face pe etape, în felul următor: se așază interferometrul astfel încât brațul 1 să aibă orientarea în direcția și sensul mișcării orbitale a Pământului (fig. 1.3, b). Pe o porțiune mică de arc mișcarea se poate considera rectilinie și uniformă. Lumina parcurge brațul 1 la ducere cu viteza  $c - V$  și la întoarcere cu viteza  $c + V$ , într-un timp total (cazurile 1 și 2):

$$t_1 = \frac{L}{c - V} + \frac{L}{c + V} = \frac{2L}{c \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)}$$

Lumina parcurge brațul 2, având aceeași lungime  $L$ , dispus perpendi-

cular pe brațul 1, cu viteza  $c\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$ , aceeași și la ducere și la întoarcere, într-un timp total (cazul 3):

$$t_2 = \frac{2L}{c\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Cei doi timpi nu sunt egali ( $t_1 > t_2$ ) și depind de  $V$ . Întrucât  $c \gg V$ , relațiile de mai sus se pot aproxima:

$$t_1 = \frac{2L}{c} (1 - \beta^2)^{-1} = \frac{2L}{c} (1 + \beta^2);$$

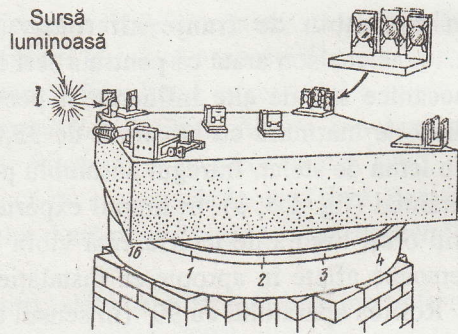
$$t_2 = \frac{2L}{c} (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}} = \frac{2L}{c} \left(1 + \frac{1}{2}\beta^2\right),$$

unde  $\beta = \frac{V}{c}$ .

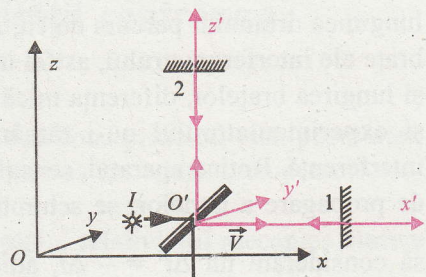
Diferența între acești doi timpi este:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{L}{c} \beta^2.$$

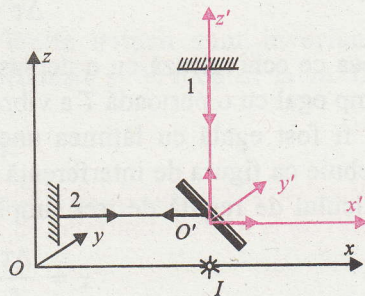
Acestei diferențe de timp îi corespunde o anumită diferență de fază și, ca urmare, apariția unei figuri de interferență. În câmpul lunetei de observare apărea



a



b



c

Fig. 1.3. Experiența lui Michelson și Morley. a. Schema instalației experimentale. b, c. Schemele de principiu pentru cele două etape ale experimentului.