

Carmen Gabriela Bostan  
Rodica Perjoiu

Ioana Stoica  
Mihaela Mariana Țura

# FIZICĂ

clasa a VIII-a



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ S.A.

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII

Carmen Gabriela Bostan  
Rodica Perjoiu

Ioana Stoica  
Mihaela Mariana Țura

# FIZICĂ

Clasa a VIII-a



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ S.A.

| ACEST MANUAL A FOST FOLOSIT DE: |  |       |        |             |                    |              |
|---------------------------------|--|-------|--------|-------------|--------------------|--------------|
| ANUL                            | Numele elevului care a primit manualul | Clasa | Școala | Anul școlar | Starea manualului* |              |
|                                 |  |       |        |             | la primire         | la returnare |
| 1.                              |  |       |        |             |                    |              |
| 2.                              |  |       |        |             |                    |              |
| 3.                              |  |       |        |             |                    |              |
| 4.                              |  |       |        |             |                    |              |

\* Starea manualului se va înscrie folosind termenii: nou, bun, îngrijit, nesatisfăcător, deteriorat.

Cadrele didactice vor controla dacă numele elevului este scris corect.

Elevii nu trebuie să facă niciun fel de însemnări pe manual.

© **E.D.P. 2020** Toate drepturile asupra acestei ediții sunt rezervate Editurii Didactice și Pedagogice, București. Orice preluare, parțială sau integrală, a textului sau a materialului grafic din această lucrare se face numai cu acordul scris al editurii.

© **Carmen Gabriela Bostan, Rodica Perjoiu, Ioana Stoica, Mihaela Mariana Țura**

#### **EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ S.A.**

Str. Spiru Haret nr. 12, sector 1, cod 010176, București

Tel.: 021.315.38.20

Tel./fax: 021.312.28.85

e-mail: office@edituradp.ro

www.edituradp.ro

**Libraria E.D.P.:** Str. Gen. Berthelot, nr. 28-30

#### **Comenzi pentru această lucrare se primesc:**

\* prin poștă, pe adresa editurii

\* prin e-mail: comenzi@edituradp.ro  
comercial@edituradp.ro

\* prin telefon/fax: 021.315.73.98

Referenți: **Universitar: Conf. Dr. Sebastian-Dumitru Popescu**  
**Preuniversitar: Prof. gr. I Stan Rogoz**

Redactori: **Silvia Pruteanu și Corneliu Pruteanu**  
Tehnoredactor: **George Biriș**  
Copertă: **Raluca Turliu**

# CUPRINS

|   |   |
|---|---|
| Reguli de protecție a muncii în laboratorul de fizică ..... | 9 |
|---|---|

## CAPITOLUL I. Fenomene termice ..... 10

|  |    |
|--|----|
| I.1. Mișcarea browniană (experimental). Agitația termică. Difuzia. ....  | 10 |
| I.1.1. Mișcarea browniană .....  | 10 |
| I.1.2. Agitația termică .....  | 10 |
| I.1.3. Difuzia .....   | 11 |
| I.2. Stare de încălzire. Echilibru termic. Temperatura empirică .....  | 13 |
| I.3. Căldura, mărime de proces .....   | 19 |
| I.4. Transmiterea căldurii (prin conducție, convecție, radiație) .....   | 20 |
| I.5. Extindere în tehnologie: motorul termic (calitativ) .....   | 21 |
| I.6. Coeficienți calorici. Calorimetrie .....  | 21 |
| I.7. Stări de agregare, caracteristici .....   | 25 |
| I.8. <i>Extindere</i> : Transformări de stare .....  | 26 |
| I.9. <i>Extindere interdisciplinară</i> : studiul schimburilor de căldură implicate<br>de topirea gheții (călduri latente) ..... | 28 |
| I.10. <i>Extindere în tehnologie</i> : stabilirea temperaturii de echilibru în sisteme neomogene .....                           | 31 |
| I.11. <i>Extindere</i> : Combustibili .....  | 32 |

## CAPITOLUL II. Fenomene electrice și magnetice ..... 40

|  |    |
|--|----|
| II.1. Electrostatica .....   | 40 |
| II.1.1. Electrizarea, sarcina electrică. Interacțiunea dintre corpurile electrizate .....                      | 40 |
| Electrizarea prin frecare .....  | 42 |
| Electrizarea prin influență sau inducție .....   | 44 |
| Interacțiunea dintre corpurile electrizate .....   | 44 |
| II.1.2. Legea lui Coulomb (identificarea experimentală a mărimilor<br>care influențează forța electrică) ..... | 45 |
| II.2. Electrodinamica .....  | 47 |
| II.2.1. Circuite electrice. Componentele unui circuit. Generatoare electrice .....                             | 47 |
| II.2.2. Tensiunea electrică. Intensitatea curentului electric .....  | 49 |
| II.2.3. Instrumente de măsură – ampermetru, voltmetru, ohmmetrul, wattmetrul, multimetru .....                 | 52 |
| II.2.4. Tensiunea electromotoare. ....   | 55 |
| II.2.5. Rezistență electrică .....   | 56 |
| Dependența rezistenței electrice de temperatură .....  | 59 |
| II.2.6. Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit .....   | 61 |
| II.2.7. Legea lui Ohm pentru întregul circuit .....  | 62 |
| Funcționarea în scurtcircuit a generatorului .....   | 63 |
| Funcționarea în gol a generatorului .....  | 64 |
| II.2.8. Gruparea rezistoarelor .....   | 65 |
| Gruparea în serie .....  | 65 |
| Gruparea în paralel .....  | 66 |
| II.2.9. <i>Extindere</i> : Teoremele lui Kirchhoff .....   | 67 |
| Reguli de aplicare a regulilor lui Kirchhoff .....   | 70 |
| II.2.10. Gruparea generatoarelor identice (studiu experimental) .....  | 71 |
| Gruparea în serie .....  | 71 |
| Gruparea în paralel .....  | 72 |
| II.2.11. Energia și puterea electrică. Legea lui Joule .....   | 73 |
| Energia electrică .....  | 73 |
| Puterea electrică .....  | 76 |
| Randamentul circuitului electric simplu .....  | 77 |
| II.2.12. <i>Extindere</i> : efectul chimic al curentului electric. Electroliza .....                           | 78 |
| Aplicații ale fenomenului de electroliză .....   | 79 |

|   |            |
|---|------------|
| II.2.13. <i>Extindere</i> : transferul de putere într-un circuit electric simplu de curent continuu .....   | 80         |
| II.3. Efectul magnetic al curentului electric .....   | 82         |
| II.3.1. Studiul experimental (calitativ) al efectului magnetic. Electromagneți .....  | 86         |
| II.3.2. Forța exercitată de un electromagnet în funcție de intensitatea curentului (mărime și sens,<br>parametrii constructivi ai bobinei: secțiune, număr de spire, tipul miezului) .....                        | 87         |
| Forța de interacțiune dintre doi conductori paraleli parcurși de curentul electric .....  | 89         |
| II.3.3. Aplicații .....   | 90         |
| Motorul electric .....  | 91         |
| <b>CAPITOLUL III. Fenomene optice .....</b>   | <b>94</b>  |
| III.1. Introducere .....  | 94         |
| III.1.1. Surse de lumină .....  | 94         |
| III.1.2. Propagarea luminii în diverse medii (absorbție, dispersie, culoarea corpurilor etc.) .....   | 95         |
| III.1.3. Raze de lumină/fascicul de lumină .....  | 97         |
| III.1.4. Principiile propagării luminii .....   | 98         |
| III.2. Reflexie .....   | 99         |
| III.2.1. Reflexia luminii .....   | 99         |
| III.2.2. Legile reflexiei – aplicație experimentală – oglinzi plane .....   | 99         |
| III.2.3. <i>Extindere</i> : aplicații ale legilor reflexiei în tehnologie .....   | 103        |
| III.3. Refracția .....  | 106        |
| III.3.1. Indicele de refracție .....  | 106        |
| III.3.2. Refracția luminii – evidențierea experimentală a fenomenului .....   | 106        |
| III.3.3. Reflexia totală .....  | 109        |
| III.3.4. <i>Extindere</i> : legile refracției, indicele de refracție .....  | 112        |
| III.3.5. Aplicații practice: fibra optică, prisma cu reflexie totală .....  | 115        |
| Fibra optică .....  | 115        |
| Prisma cu reflexie totală .....   | 116        |
| III.4. Lentile subțiri .....  | 117        |
| III.4.1. Identificarea experimentală a tipurilor de lentile (convergente, divergente) .....   | 117        |
| III.4.2. Identificarea experimentală a caracteristicilor fizice ale lentilelor subțiri, focar, poziție imagine .....  | 118        |
| III.4.3. Construcția geometrică a imaginilor prin lentile subțiri .....   | 121        |
| III.4.4. <i>Extindere</i> : determinarea formulelor lentilelor subțiri – puncte conjugate,<br>mărire liniară transversală folosind elemente de geometrie plană .....  | 123        |
| III.5. Instrumente optice .....   | 127        |
| Ochiul .....  | 127        |
| Lupa .....  | 128        |
| Ochelarii .....   | 128        |
| <b>CAPITOLUL IV. <i>Extindere</i>: Energia și viața .....</b>   | <b>134</b> |
| IV.1. Forme de energie – temă integratoare .....  | 134        |
| IV.4.1. Transformarea și conservarea energiei în diferite sisteme (de exemplu, sistemul de întreținere<br>a vieții pe o stație spațială, alte sisteme identificate și studiate la biologie, geografie etc.) ..... | 135        |
| Generatorul electric .....  | 135        |
| Dinamul .....   | 135        |
| Hidrocentrala .....   | 136        |
| Centrale eoliene .....  | 136        |
| Centrale geotermale .....   | 136        |
| Centrale solare .....   | 137        |
| Bilanțul energetic al solului și al atmosferei .....  | 137        |
| Randamentul unui lanț energetic .....   | 138        |
| Sistemul de întreținere al vieții pe o stație spațială.<br>Creșterea plantelor pe o colonie spațială .....  | 139        |
| Probleme recapitulative .....   | 141        |
| Soluții la probleme .....   | 143        |

## COMPETENȚE GENERALE. COMPETENȚE SPECIFICE

### COMPETENȚE GENERALE

- 1.** Investigarea științifică structurată, în principal experimentală, a unor fenomene fizice simple, perceptibile.
- 2.** Explicarea științifică a unor fenomene fizice simple și a unor aplicații tehnice ale acestora.
- 3.** Interpretarea unor date și informații, obținute experimental sau din alte surse, privind fenomene fizice simple și aplicații tehnice ale acestora.
- 4.** Rezolvarea de probleme/situații problemă prin metode specifice fizicii.

### COMPETENȚE SPECIFICE

- 1.1.** Explorarea proprietăților și fenomenelor fizice în cadrul unor investigații științifice diverse (experimentale/ teoretice).
- 1.2.** Folosirea unor metode și instrumente pentru înregistrarea, organizarea și prelucrarea datelor experimentale și teoretice.
- 1.3.** Sintetizarea dovezilor obținute din investigații științifice în vederea susținerii cu argumente a unei explicații/generalizări.
- 2.1.** Încadrarea în clasele de fenomene fizice studiate a fenomenelor fizice complexe identificate în natură și în diferite aplicații tehnice.
- 2.2.** Explicarea de tip cauză - efect, utilizând un limbaj științific adecvat, a unor fenomene fizice simple identificate în natură și în diferite aplicații tehnice.
- 2.3.** Prevenirea unor posibile efecte negative asupra oamenilor și/sau asupra mediului ale unor fenomene fizice și/sau aplicații în tehnică ale acestora.
- 3.1.** Extragerea de date științifice relevante din observații proprii și/sau din diverse surse.
- 3.2.** Organizarea datelor experimentale, științifice în diferite forme de prezentare.
- 3.3.** Evaluarea critică autonomă a datelor obținute și a evoluției propriei experiențe de învățare.
- 4.1.** Utilizarea unor mărimi și a unor principii, teoreme, legi, modele fizice pentru a răspunde argumentat la probleme/situații-problemă de aplicare și/sau de raționament.
- 4.2.** Folosirea unor modele simple din diferite domenii ale fizicii în rezolvarea de probleme simple/situații problemă.

# Pagina de început a unității de învățare

Titlu de capitol

Titlu de lecție care fixează, progresiv, tematica de învățat

Subtitlu de lecție

Rubrici cu mare impact didactic, care ajută la procesul de asimilare și fixare a noilor noțiuni prin abordarea disciplinei din perspectiva investigației științifice și nu numai...

Fixarea, în permanență, în partea dreapta-sus, a capitolului de învățat

## II. FENOMENE ELECTRICE ȘI MAGNETICE

### II.1. ELECTROSTATICA

#### II.1.1. Electrizarea, sarcina electrică. Interacțiunea dintre corpurile electrizate

**Scurt istoric:** Încă din antichitate, grecii au observat că chihlimbarul, o rășină fosilă de culoare galbenă, după ce era frecată cu o bucată de lână, putea atrage corpuri ușoare. Fenomenul de electrizare prin frecare a chihlimbarului, numit *elektron* în limba greacă, a fost observat și descris de către Thales din Milet (624 – 547 î. Hr.), cu aproximativ 600 ani î.Hr.

**Învăță din imagini:** Privește imaginile de mai jos (figura II.1) și amintește-ți din clasa a VI-a fenomenul de electrizare studiat.

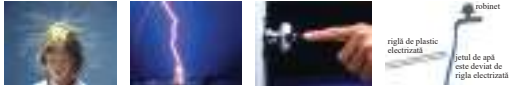


Figura II.1

Ai învățat că toate corpurile pe care le întâlnim în viața curentă sunt alcătuite din substanțe. La rândul lor, acestea sunt alcătuite din atomi. În figura II.2 b) poți identifica structura unui atom și a nucleului acestuia.




Figura II.2 a)

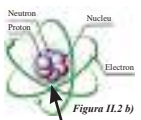


Figura II.2 b)

**Reține**

Un atom este alcătuit dintr-o parte centrală, numită **nucleu**, în jurul căruia se deplasează electronii, formând **norul electronic**. La rândul lui, nucleul este format din protoni și neutroni. Electronii și protonii au pe lângă masă și o proprietate numită **sarcină electrică**. Electronul are sarcină electrică **negativă** (-), iar protonul sarcină electrică **pozitivă** (+). Electronul are cea mai mică sarcină electrică negativă. Protonul are sarcină pozitivă, egală în modul cu cea a electronului. Atomul este neutru din punct de vedere electric deoarece numărul electronilor este egal cu cel al protonilor.

**Definiție**

**Sarcină electrică** este o mărime fizică scalară care caracterizează starea de electrizare a unui corp. Sarcină electrică se notează cu litera  $q$  (sau  $Q$ ).

## II. Fenomene electrice și magnetice

Unitatea de măsură în Sistemul Internațional pentru sarcina electrică este **coulombul** (C):  $[q]_I = C$ .

**Reține**

Sarcina protonului reprezintă cea mai mică valoare a sarcinii electrice pusă în evidență experimental și se numește **sarcină elementară**, se notează cu litera  $e$  și are valoarea:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}.$$

Sarcina electrică  $Q$  a nucleului unui atom este pozitivă, fiind determinată de suma sarcinilor electrice a protonilor:  $Q = Ze$ , unde  $Z$  este numărul atomic egal cu numărul protonilor din nucleu, iar  $e$  este sarcina elementară.

**Exemplu:** Sarcina unui nucleu de fier ( $Z = 26$ ) este:  $Q_p = 26 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 41,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Electronul din învelișul electronic are sarcină electrică negativă, egală cu  $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -e$ . Sarcina electrică a electronilor din învelișul electronic se poate calcula prin relația:  $Q_e = Z \cdot (-e)$ .

**Exemplu:** Sarcina electronilor din atomul de fier este:  $Q_e = 26 \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19}) \text{ C} = -41,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Sarcina electrică a unui atom se calculează ca suma dintre sarcina electrică a nucleului și sarcinile electrice ale electronilor:  $Q = Ze + Z(-e) = 0$ .

**Reține**

Orice sarcină electrică existentă liber în natură este un multiplu întreg de sarcini elementare și se scrie sub forma:

$$q = Ne, \text{ unde } N \text{ este un număr întreg.}$$

Deoarece corpurile electrizate au sarcini mult mai mici decât un coulomb, se folosesc submultiplii acestuia:

microcoulombul:  $1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$   
nanocoulombul:  $1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$

**Observație**

Sarcina electrică nu poate lua orice valoare, ci doar anumite valori. Din acest motiv, se spune că sarcina este **cuantificată** (are un caracter discret sau discontinuu).

**Problemă rezolvată**

Câte sarcini electrice elementare sunt cuprinse într-o sarcină de  $1 \text{ C}$ ?

| Rezolvare  | Indicații de rezolvare   |
|--|--|
| $q = Ne \Rightarrow N = \frac{q}{e}$ $N = \frac{1 \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 6,25 \cdot 10^{18}$ | <p>Scrie relația care exprimă legătura dintre sarcina electrică și sarcina elementară.</p> |

Corpurile se încarcă cu sarcini electrice prin mai multe procedee: *frecare, contact și influență*.

Marcarea prezenței activităților multimedia, digitale (AMII statice, animate și interactive)

Noi rubrici care ajută elevul la fixarea și memorarea noțiunilor noi, apărute în procesul de predare al materiei

Imaginile – cu rol de suport vizual și de susținere științifică și didactică – sunt pentru procesul de argumentare și explicare facilă a noilor noțiuni apărute.

Rubrica de probleme rezolvate se întâlnește des pe parcursul manualului, aceasta având rol de explicare și detaliere practică – prin folosirea formulelor și a relațiilor învățate – a problemelor care apar atât în *Fizică* cât și, de ce nu, în viața de zi cu zi.

Coloncifru. Fixarea numărului de pagină



# Pagina de final a unității de învățare

Activitățile de învățare și de autoevaluare care se întâlnesc pe parcursul tuturor lecțiilor din manual au rolul de a stimula elevul atât în procesul de aprofundare a unor noi noțiuni de fizică, cât și în dezvoltarea altor aptitudini ale acestuia.

Activitatea interdisciplinară ajută memoria elevului prin exerciții facile, interdisciplinare, care să incite și imaginația elevului.

Fixarea, în permanență, în partea dreapta-sus, a capitoului de învățat

Marcarea prezenței activităților multimedia, digitale (AMII statice, animate și interactive)

**Activități de învățare și de autoevaluare:**

1. Enumeră 5 exemple de dispozitive care funcționează datorită unui motor.
2. Desenează sensul curentului, al forței electromagnetice și a liniilor de câmp din figura II.86.
3. Realizează o jucărie care să folosească un motor.

**Rezumat**

Electrizarea corpurilor se poate realiza prin frecare, contact și inducție.

Sarcina electrică este o mărime fizică ce caracterizează starea de electrizare a corpurilor.

Legea lui Coulomb exprimă forța de interacțiune dintre două sarcini punctiforme:  $F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$

Într-un conductor, rezistența electrică este raportul dintre tensiunea aplicată și intensitatea curentului:  $R = \frac{U}{I}$

Rezistența unui conductor liniar este  $R = \rho \frac{l}{S}$

Legile lui Ohm pentru: o porțiune de circuit:  $I = \frac{U}{R}$ ; întregul circuit:  $I = \frac{E}{R + r}$

La scurtcircuit,  $R \approx 0$ , intensitatea curentului de scurtcircuit:  $I_c = \frac{E}{r}$

La funcționare în gol,  $R \rightarrow \infty$ , iar tensiunea la borne devine:  $U = E$

Legile lui Kirchhoff:

(I.) Suma intensităților curentilor care intră într-un nod de rețea este egală cu suma intensităților curentilor care ies din nodul respectiv.

(II.) Suma algebrică a tensiunilor electromotoare dintr-un ochi de rețea este egală cu suma algebrică a tensiunilor de pe laturile ochiului.

Legea lui Joule:  $Q = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$

Efectele curentului electric sunt efectul termic, efectul chimic și efectul magnetic.

La trecerea unui curent electric printr-un conductor se produce în jurul lui câmp magnetic. Efectul magnetic este folosit în crearea unor magneți puternici sau pentru a determina deplasarea unui conductor parcurș de curent electric.

Mărimea fizică ce caracterizează o bobină este inducția electrică  $L$  și indică capacitatea bobinei de a acumula energie sub formă de câmp magnetic.  $L = \mu \frac{N^2}{l}$

unde  $\mu$  = permeabilitatea magnetică = parametru specific miezului magnetic;  $N$  = numărul de spire;  $S$  = aria secțiunii transversale a bobinei;  $l$  = lungimea bobinei

Vectorul inducție magnetică  $\vec{B}$  ce caracterizează câmpul magnetic într-un punct este tangent în fiecare punct la liniile de câmp magnetic și are același sens cu acestea.  $[B]_{SI} = \frac{N}{A \cdot m} = T$

Unitatea de măsură pentru inducția magnetică este tesla:  $[B]_{SI} = \frac{N}{A \cdot m} = T$

Tesla este inducția magnetică a unui câmp magnetic uniform care exercită o forță de 1 newton pe fiecare metru din lungimea conductorului așezat perpendicular pe liniile de câmp, prin care trece un curent de un amper.

Forța cu care interacționează magnetul și conductorul parcurș de curent se numește forță electromagnetă. Mărimea forței electromagnetice este:  $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$ , unde  $\alpha$  este unghiul dintre direcția conductorului și direcția vectorului inducție magnetică.

**Activitate interdisciplinară:**

Studiază cu atenție desenul din figura II.87 și răspunde la următoarele cerințe:

1. Identifică noțiunile învățate și unitățile de măsură asociate;
2. Serie un scurt eseu despre noțiuni învățate în acest capitol;
3. Realizează un desen care să sugereze cât mai multe noțiuni de fizică studiate. Prezintă desenul în fața colegilor. Folosește în explicații un limbaj științific și dă cât mai multe detalii referitoare la modul de realizare a desenului tău.
4. Inspirându-te din imaginea alăturată, realizează un desen în care să exemplifici efectele câmpului magnetic.

**Test de evaluare:**

Alege varianta/varianțele corect/corecte:

1. (Ip) Prin spirala unui reșou electric, conectat la  $U = 220 \text{ V}$ , trece  $Q = 15 \text{ C}$ . Lucrul mecanic efectuat este:
 

| a    | b      | c     | d     |
|------|--------|-------|-------|
| 15 J | 3.3 kJ | 68 kJ | 1.5 J |
|      |        |       | 33 J  |
2. (Ip) Un conductor este parcurș de un curent de 1.6 A timp de un minut. Sarcina electronului este de  $1.6 \cdot 10^{18} \text{ C}$ . Numărul de electroni care trec prin conductor este:
 

| a                 | b                 | c                   | d                   | e                 |
|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| $6 \cdot 10^{20}$ | $6 \cdot 10^{20}$ | $1.6 \cdot 10^{19}$ | $1.6 \cdot 10^{20}$ | $3 \cdot 10^{19}$ |
3. (Ip) Printre-o lampă conectată la  $U = 220 \text{ V}$  trece un curent de 1 A. Căldura degajată într-o oră este:
 

| a     | b       | c      | d      | e     |
|-------|---------|--------|--------|-------|
| 220 J | 13.2 kJ | 792 kJ | 220 kJ | 792 J |
4. (Ip) Dacă lungimea unui conductor se dublează, iar diametrul se micșorează de două ori, atunci rezistența sa electrică:
 

| a              | b               | c               | d              | e              |
|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| Scade de 4 ori | Crește de 2 ori | Crește de 8 ori | Scade de 2 ori | Nu se modifică |
5. (Ip) Expresia forței electromagnetice este:
 

| a   | b   | c   | d                       |
|---|---|---|-------------------------|
| $F = B \cdot I \cdot l \cdot \cos \alpha$ | $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$ | $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$ | $F = B \cdot I \cdot l$ |
6. (Ip) Completează tabelul de mai jos:
 

| Nr. crt. | $R (\Omega)$ | $r (\Omega)$ | $U (V)$ | $I (A)$ | $E (V)$ | $\Delta t (s)$ | $W_{em} (J)$ | $W_{in} (J)$ | $P_{in} (W)$ |
|----------|--------------|--------------|---------|---------|---------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1        | 25           | 5            |         | 2       |         | 10 s           |              |              |              |
| 2        |              |              | 1       | 45      |         | 50             |              | 125          |              |
7. (Ip) Asupra unui conductor rectiliniu aflat între poli unui magnet, într-un plan perpendicular pe axa magnetului, se exercită o forță electromagnetă  $F_e = 2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$ , atunci când acesta este parcurș de un curent electric  $I = 1 \text{ A}$ . Cât este forța electromagnetă, dacă intensitatea curentului devine  $I = 2.5 \text{ A}$ ?
8. (2p) Tensiunea la bornele unei surse electrice care are t.e.m.  $E = 6 \text{ V}$  este  $V = 5 \text{ V}$  când circuitul este parcurș de un curent cu intensitatea  $I = 1 \text{ A}$ . Să se afle:
  - a) Rezistența internă a sursei;
  - b) Rezistența circuitului exterior;
  - c) Căderea de tensiune în interiorul sursei;
  - d) Intensitatea curentului la scurtcircuit.

Rezumatul – așa cum îi spune și numele – va sumariza toate noțiunile predate pe parcursul unui capitol. Toate regulile și formulele importante se vor afla, din nou, aici, pentru ca elevul, și prin această rubrică, să asimileze mai ușor noile noțiuni predate.

Testul de evaluare de la finalul capitolului va cuprinde probleme interesante, care vor recapitula, prin tematica implicată, majoritatea noțiunilor predate pe parcursul unui capitol. Și mai interesant este faptul că elevul – prin răspunsurile date – își poate aprecia nivelul de cunoștințe și, dacă este nevoie, va recapitula unele noțiuni mai slab însușite.

Desenul recapitulativ al capitoului – care este pe cât de distractiv, pe atât de interesant – provoacă elevii să identifice fenomenele, mărimile fizice, aplicațiile aferente și să folosească toate competențele dobândite în construirea propriului lor desen, care se dorește a fi nu numai interesant, dar și foarte corect din punct de vedere al materiei învățate.



## Manual TIPĂRIT

În manual veți întâlni conținuturi marcate astfel:



**Reține!**



**Rezumat**



**Observație**



**Concluzie**



**Curiozități**



**Definiție**



**Enunț**



**Activitate interdisciplinară**



**Activități de învățare și de autoevaluare**



**Activitate experimentală**

Rubricile:

*Reține!, Observație, Concluzie, Definiție, Enunț, Curiozități și Rezumat* au rol direct în fixarea și memorarea noțiunilor noi care apar la *Fizică*.

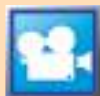
De asemenea, rubricile: *Activitate de învățare și autoevaluare, Activitate experimentală și Activitate interdisciplinară* ajută la dezvoltarea aptitudinilor de analiză și rezolvare de probleme cu noțiunile noi predate.

## Manual DIGITAL



**AMII statice**

- imagini • desene • grafice • hărți conceptuale • fișe de lucru • referatul experimentelor
- curiozități • extinderi • teste de evaluare • răspunsuri la probleme.



**AMII animat**

- filme
- experimente



**AMII interactive**

- exerciții • jocuri • modelări de experimente
- teste de evaluare

# REGULI DE PROTECȚIA MUNCII ÎN LABORATORUL DE FIZICĂ



**1.** Îmbrăcămintea trebuie să fie adecvată activităților practice în laborator.

- Pe parcursul activităților de laborator, evitați să purtați accesorii voluminoase. Părul lung trebuie să fie legat la spate, iar nasturii de la mâneci, încheiați.

**2.** Păstrați ordinea pe masa de lucru!

- Pe masa de lucru vor fi doar dispozitivele necesare efectuării experimentului și caietul de notițe.

- Îndepărtați obiectele care nu sunt necesare de pe masa pe care se efectuează experimentele!

- Raportați orice produs deteriorat sau care nu funcționează!

- Faceți ordine pe masa de lucru la terminarea orei!

**3.** Lucrați în laborator numai sub supravegherea profesorului!

- Fiți atenți la indicațiile/avertismentele profesorului!

- Experimentele de laborator sunt întâi aprobate de profesor și apoi sunt puse în aplicare de elevii de la fiecare masă.

- Joaca în laborator este interzisă!

- Raportați orice incident profesorului, chiar dacă îl considerați minor!

- Nu lăsați echipamentele nesupravegheate în timpul funcționării!

- Nu efectuați experimente neautorizate de profesor și nu schimbați destinația materialelor sau echipamentelor! Folosiți numai materialele și echipamentele enumerate în lista de echipamente din fișa de activitate sau autorizate de profesor! Urmați etapele specificate în fișa de lucru sau descrise în manual și aprobate de profesor!

- Nu folosiți echipamentele de laborator pentru altceva decât scopul propus!

- Aveți grijă de cei din jurul vostru sau de echipamente atunci când se efectuează un experiment! Dacă nu sunteți sigur cum se procedează, întrebați profesorul.

**4.** Manifestați prudență atunci când lucrați cu echipamente electrice!

- Nu utilizați echipamente electrice cu fire neizolate!

- Asigurați-vă că aveți mâinile uscate înainte de a utiliza echipamentele electrice!

- Închideți toate dispozitivele electrice când ați terminat experimentul!

- Elevii nu vor face legături la priză fără controlul profesorului.

- Electromagnetul se poate încălzi, în special la terminale, astfel încât elevii să-și deconecteze bateriile la intervale dese.

**5.** Spălați-vă pe mâini cu apă și săpun la încheierea fiecărei activități de laborator!

**6.** Aerisiți laboratorul înainte de a pleca!

# I.

## FENOMENE TERMICE

### I.1. Mișcarea browniană (experimental). Agitația termică. Difuzia

#### I.1.1. Mișcarea browniană

Ai observat, probabil, într-o cameră întunecată în care pătrunde un fascicul îngust de lumină, fire de praf ce se mișcă haotic, fără a cădea pe Pământ. Un fenomen asemănător a fost observat în 1827 de botanistul scoțian Robert Brown. Studiind la microscop o suspensie de polen în apă, el a observat că particulele de polen au o mișcare complet dezordonată, permanentă, în zigzag.



Mișcarea browniană  
**Figura I.1**



#### Activitate experimentală

Poți reface experimentul lui Brown folosind „pulbere” de polistiren expandat sau grăunțe de polen:

- din polistiren expandat, cu ajutorul unui cuțit, separă particule foarte fine (ca o pulbere);
- pune o picătură de apă pe lamela de sticlă a unui microscop;
- presară particule foarte fine de polistiren în picătura de apă de pe lamelă;
- acoperă amestecul obținut cu o a doua lamelă de sticlă;
- studiază la microscop mișcarea particulelor de polistiren;
- refă experimentul folosind apă fierbinte.



#### Concluzie

Particulele de polistiren au o mișcare haotică. Cu cât temperatura apei este mai ridicată, cu atât mișcarea particulelor este mai rapidă.

Deși a descris în amănunt mișcarea, numită **mișcare browniană**, botanistul scoțian nu a putut explica fenomenul.

#### I.1.2. Agitația termică

Mișcarea browniană poate fi explicată dacă ținem cont că atomii și moleculele substanțelor, indiferent de starea de agregare, se găsesc într-o mișcare haotică, permanentă, numită **agitație termică**. În mișcarea lor haotică, moleculele/atomii substanțelor se vor ciocni între ele, schimbându-și permanent traiectoriile. Agitația termică depinde de temperatură. Cu cât crește temperatura, cu atât agitația termică devine mai intensă.



#### Reține!

**Agitația termică** este mișcarea haotică, permanentă, în care se găsesc atomii și moleculele substanțelor, indiferent de starea de agregare. Mișcarea este cu atât mai intensă, cu cât temperatura este mai mare.

Cel care a explicat mișcarea particulelor de polen a fost Albert Einstein: moleculele de apă, în mișcarea lor haotică, ciocnesc particulele de polen, determinând mișcarea dezordonată observată de Brown.

Explicația oferită de Einstein este o dovadă indirectă a existenței atomilor și a moleculelor.

### I.1.3. Difuzia

Se poate să fi observat că dacă scapi o picătură de cerneală albastră într-un pahar cu apă, după un timp oarecare, mai scurt sau mai lung, culoarea lichidului se uniformizează, devenind albastruie.

Realizează următorul experiment, pentru a studia care este cauza care produce acest fenomen.



#### Activitate experimentală

- Toarnă în două pahare transparente apă rece și respectiv apă fierbinte.
- Cu ajutorul unei pipete, picură în fiecare dintre vase două sau trei picături de cerneală albastră.
- Așteaptă un timp suficient de lung pentru ca amestecul să se omogenizeze. Vei constata că în ambele vase culoarea se uniformizează, doar că în vasul în care a fost inițial apă fierbinte, culoarea s-a uniformizat mai repede.



*Difuzia în două vase cu temperatură mai mică (stânga)  
și respectiv mai mare (dreapta)*

**Figura I.2**



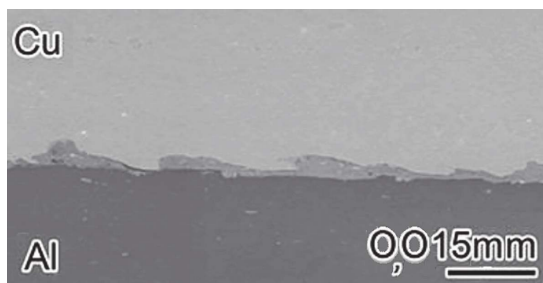
#### Concluzie

Moleculele de cerneală și moleculele de apă s-au întrepătruns în mod spontan. Acest fenomen de pătrundere a moleculelor unui corp printre moleculele altui corp, fără intervenția unor forțe exterioare, se numește **difuzie**. Difuzia apare în toate stările de agregare. În afară de temperatură, difuzia depinde, printre altele, și de densitatea substanțelor care difuzează.

Poți observa fenomenul de difuzie ori de câte ori deschizi o sticlă de parfum: mirosul se împrăștie în toată camera deoarece moleculele de parfum difuzează printre atomii și moleculele care formează aerul. (În general, fenomenul de difuzie este responsabil pentru răspândirea mirosurilor.) Atunci când dizolvi zahărul în apă, moleculele de zahăr difuzează printre moleculele de apă.

La solide, datorită densității mari, fenomenul se observă mai greu (este nevoie de ani ca acest fenomen să poată fi observat).

În practică (industria electrotehnică, aeronavelor, spațială etc.) se obțin suduri (reci) prin difuzia diferitelor metale, cum ar fi Cu-Fe, Al-Ag, Au-Pt etc.



Exemple de difuzie  
**Figura 1.3**



### Reține!

Numim **difuzie** fenomenul de pătrundere a moleculelor/atomilor unui corp printre moleculele/atomii altui corp, fără intervenția unor forțe exterioare. Difuzia apare în toate stările de agregare.

Difuzia este o consecință a fenomenului de **agitație termică**. În mișcarea lor haotică, moleculele/atomii substanțelor puse în contact se vor ciocni între ele, schimbându-și permanent traiectoriile, astfel încât moleculele/atomii unei substanțe vor pătrunde în domeniul în care se află moleculele/atomii celeilalte substanțe.

Așa cum ai observat din experiment, difuzia este accelerată de creșterea temperaturii.



### Curiozități

- Brown nu a fost primul care a observat mișcarea haotică a unor particule. Poetul roman Lucretius a folosit, în jurul anului 60 î.Hr, mișcarea haotică a particulelor de praf ca pe o dovadă a existenței atomilor.

- În 1908, Jean Perrin a verificat experimental ipoteza lui Einstein referitoare la mișcarea termică a moleculelor de apă. Perrin a câștigat, în 1926, Premiul Nobel pentru studiile referitoare la structura discontinuă a substanței.

- Așa cum ai aflat deja, difuzia depinde de densitatea substanței și de temperatură. Difuzia în gaze se face foarte rapid, cel mai adesea în secunde. Datorită rapidității cu care se produce, difuzia gazelor poate fi extrem de periculoasă; otrăvirea cu monoxid de carbon sau cu alte gaze este un proces care se produce foarte rapid.

- În viața de zi cu zi există multe exemple în care difuzia este foarte folositoare: dizolvarea zaharului și a sării, a pulberii detergenților în apă, folosirea pulverizatoarelor etc.

- Datorită difuziei, oxigenul din plămâni pătrunde în sânge și din sânge în țesuturi; la rândul său, dioxidul de carbon difuzează din capilarele sistemului circulator în alveolele plămânilor.

- Nutrienții eliberați din alimente difuzează în celule.

- Pădurile purifică aerul datorită fenomenului de difuzie.
- Păturile inferioare ale atmosferei sunt amestecuri omogene de azot, oxigen, vapori de apă, dioxid de carbon, hidrogen, argon, heliu etc.

Dacă nu ar exista difuzia, câmpul gravitațional al Pământului ar „stratifica” atmosfera în pături distincte. Stratul cel mai de jos ar fi de dioxid de carbon, stratul următor ar fi de oxigen, următorul de azot, apoi vaporii de apă, iar cel mai sus ar trebui să fie heliul și hidrogenul.

- Pe Stația Spațială Internațională, astronauții au „paturile” (sacii de dormit) fixate pe pereți în imediata apropiere a ventilatoarelor. În acest fel, li se asigură un flux constant de aer curat în timpul somnului; în caz contrar, ei ar putea suferi de migrene din cauza lipsei de oxigen.



### Activități de învățare și de autoevaluare

1. Peștii respiră oxigenul dizolvat în apa râurilor, a lacurilor și a mărilor. Numește procesul fizic ce permite oxigenului din atmosferă să intre în apă.

2. Explică dacă mirosurile se vor răspândi într-o încălțată închisă ermetic, unde nu există absolut niciun curent de aer.

3. Procesul de difuzie poate înceta? Dar agitația termică?

4. Fenomenul de difuzie poate avea efecte devastatoare în cazul poluării: s-a constatat că aerul din orașe, din cauza activităților industriale, a transportului mecanizat și a activităților utilitare, conține particule de nisip, praf de cărbune, praf de ciment, cadmiu, mercur, plumb, oxid de fier, oxid de cupru etc. Realizează un scurt eseu în care să descrii, în termeni științifici, modalități de rezolvare a problemelor de mediu asociate cu purificarea aerului.

5. Pentru a observa fenomenul de difuzie, realizează următorul experiment: toarnă ceară topită peste cristalele de permanganat de potasiu dintr-un vas transparent. Plasează vasul într-un loc ferit din laboratorul de fizică.

Înarmează-te cu răbdare! Acest proces de difuzie este lent, rezultatul experimentului putând fi observat abia după 2 luni.

## I.2. Starea de încălzire. Echilibrul termic. Temperatura empirică

În spațiul cosmic este rece sau cald?

Sunt suficiente noțiunile de cald și rece pentru a caracteriza starea de încălzire a unui corp? Să răspundem împreună la aceste întrebări.



### Activitate experimentală

Așa cum probabil știi deja, în 1790, filosoful englez John Locke (1632 – 1704) a efectuat un experiment prin care a evidențiat subiectivitatea noțiunilor de cald și rece. Îți propunem să refaci și tu acest experiment.

- Pregătește în trei vase suficient de largi apă caldă, apă foarte caldă și respectiv, apă cu gheață.
- Introdu, simultan, o mână în vasul cu apă foarte caldă și pe cealaltă în vasul cu apă foarte rece și așteaptă câteva secunde.
- Scoate simultan mâinile din cele două vase și introdu-le imediat în al treilea vas.



## Concluzie

Informațiile transmise de cele două mâini vor fi diferite: mâna care a stat în apă foarte caldă îți va da senzația că apa din al treilea vas este rece, iar cea care a stat în apa rece îți va da senzația că apa respectivă este caldă. Senzațiile de cald sau de rece sunt senzații subiective. Gradul de încălzire a corpurilor este o proprietate măsurabilă, deci poate fi determinat în mod obiectiv. Unele corpuri sunt mai reci decât altele din cauza **gradului de încălzire diferit**.

Două sau mai multe corpuri care au stări diferite de încălzire, puse în contact, interacționează termic. După un timp oarecare, suficient de lung, corpurile aflate în contact termic vor ajunge la **echilibru termic, adică vor avea aceeași stare de încălzire**. Sistemul nu poate ieși de la sine din starea de echilibru termic.

Așa cum știi deja, pentru a măsura starea de încălzire a corpurilor, avem nevoie de o mărime fizică numită **temperatură**. Temperatura empirică este o mărime fizică ce poate fi măsurată, asociind o valoare numerică fiecărei stări de încălzire a corpurilor.



## Reține!

**Temperatura empirică** este o mărime fizică scalară, necesară și suficientă pentru a caracteriza echilibrul termic. Corpurile aflate în echilibru termic au aceeași temperatură. **Principiul tranzitivității echilibrului termic** spune că dacă un corp A este în echilibru termic cu un corp B, iar corpul B este în echilibru termic cu corpul C, atunci corpul A este în echilibru termic cu corpul C.



## Curiozități

- La scară microscopică, temperatura este o măsură a intensității agitației termice a atomilor și a moleculelor substanțelor. Cu cât mișcarea termică este mai intensă, cu atât temperatura este mai mare. De aceea, în spațiul cosmic, unde concentrația de particule este foarte mică (aproximativ un atom pe metru cub), temperatura atinge valori de aproximativ  $-270,42^{\circ}\text{C}$ .



## Reține!

**Unitatea de măsură** pentru temperatură în Sistemul Internațional de Unități se numește **kelvin**:

$$[T]_{SI} = \text{K}$$

Kelvinul este o **unitate de măsură fundamentală**, la fel ca metrul, secunda, kilogramul, molul etc.

Există și alte unități de măsură pentru temperatură: gradul Celsius, gradul Fahrenheit, gradul Rankine etc.



## Reține!

Dispozitivul cu care se măsoară temperatura se numește **termometru**.

Așa cum deja ai învățat, orice termometru are un **corp termometric**, caracterizat de o mărime fizică ce variază cu temperatura.

Corpul termometric poate fi un lichid (de exemplu alcool, iar mărimea fizică ce variază cu temperatura este lungimea coloanei de lichid), un gaz (hidrogen, azot; volumul gazului este cel care variază cu temperatura) sau un metal în stare lichidă (mercur; lungimea coloanei de mercur variază cu temperatura).



**Reține!**

**Mărimea fizică** ce caracterizează corpul termometric **trebuie să varieze cu temperatura. Această variație este de preferat să fie liniară**; o variație liniară asigură ca, unui anume grad de încălzire, să îi corespundă o unică valoare a temperaturii.

De exemplu, dacă termometrul cu alcool este pus în contact cu corpuri ce au diverse stări termice, lungimea coloanei de alcool va avea lungimi diferite, bine determinate, pentru stări termice diferite. Când termometrul este pus în contact cu un corp cu o anumită stare termică, la echilibru termic, temperatura corpului termometric va fi egală cu temperatura corpului respectiv.

Pentru a stabili unitatea de măsură pentru temperatură (oricare ar fi gradul la care ne referim) avem nevoie de o **scară de temperatură**, adică trebuie să stabilim o corespondență între temperatura termometrului și valoarea măsurată a mărimii fizice ce caracterizează corpul termometric.



Termometru cu mercur

**Figura I.4****Reține!**

Pentru a stabili o scară de temperatură (Celsius, Fahrenheit etc.), avem nevoie de două stări de încălzire distincte, ușor de reprodus, numite repere, cărora le asociem, în mod convențional, două valori numerice pentru temperatură.

Se notează, pe o scară, valorile pe care le atribuim mărimii termometrice la cele două temperaturi. Obținem în acest fel un **interval de temperatură**. Pentru a obține unitatea de temperatură în scara respectivă, vom împărți intervalul de temperatură obținut într-un număr întreg, arbitrar, de intervale egale. Temperatura măsurată cu un termometru având o scară stabilită în modul arătat mai sus se numește **temperatură empirică**.

De exemplu, pentru **scara Celsius**, cele două repere sunt **apa pură în echilibru cu gheața și starea de fierbere a apei pure**, în ambele cazuri, presiunea atmosferică fiind cea normală.

În **scara Fahrenheit**, cele două repere sunt **punctul de îngheț** al unui amestec salin, format din apă pură, gheață și clorură de amoniu ( $0^{\circ}\text{F}$ ), și **temperatura corpului uman** ( $96^{\circ}\text{F}$ ); astfel, temperaturii de îngheț a apei pure i se atribuie valoarea de  $32^{\circ}\text{F}$ , iar temperaturii la care fierbe apa pură la presiune atmosferică normală i se atribuie valoarea de  $212^{\circ}\text{F}$ . Cele două repere sunt separate de 180 de diviziuni, numite grade Fahrenheit.

**Scara Kelvin**, inventată de **Lord William Thomson Kelvin** (1824 – 1907), în anul 1848, este o scară de temperatură care are doar temperaturi pozitive. Această scară este independentă de proprietățile oricărei substanțe (nu necesită două repere din natură). Temperaturii de zero grade Celsius îi corespunde o temperatură  $T_0 = 273,15\text{ K}$  (uneori, în aplicații, se folosește valoarea  $T_0 = 273\text{ K}$ ).

O diviziune pe scara Kelvin este egală cu o diviziune pe scara Celsius.

Deci, relația de transformare între o temperatură oarecare exprimată în grade Celsius și aceeași temperatură în scara Kelvin este:

$$t (^{\circ}\text{C}) = T - T_0$$

Fie două temperaturi oarecare,  $t_1$  și  $t_2$ , exprimate în grade Celsius. Celor două temperaturi, pe scara Kelvin, le vor corespunde temperaturile  $T_1$  și  $T_2$ . Folosind relația de transformare de mai sus, vom obține:

$$t_2 - t_1 = (T_2 - T_0) - (T_1 - T_0) \Rightarrow t_2 - t_1 = T_2 - T_0 - T_1 + T_0 \Rightarrow t_2 - t_1 = T_2 - T_1$$

$$\Delta t = \Delta T$$



### Reține!

Variația de temperatură exprimată în grade Celsius este egală cu variația de temperatură exprimată în kelvin:  $\Delta t = \Delta T$

Temperatura **corpurilor incandescente** nu poate fi măsurată cu termometrul. În acest caz, temperatura se măsoară în funcție de culoarea emisă de corpul respectiv. Dispozitivul care măsoară temperatura în funcție de valoarea energiei emise de corp sub formă de radiație termică se numește pirometru.

| Temperatura °C (°F) | Culoarea (subiectivă)  |
|---------------------|------------------------|
| 580°C (1 076°F)     | Roșu întunecat         |
| 730°C (1 350°F)     | Roșu strălucitor       |
| 930°C (1 710°F)     | Portocaliu strălucitor |
| 1 300°C (2 370°F)   | Galben foarte deschis  |

Deși inițial pirometrul se folosea doar pentru măsurarea temperaturii corpurilor incandescente, în zilele noastre pirometrul se folosește și pentru măsurarea unor temperaturi mai joase. Această metodă de măsurare a temperaturii nu necesită contact între pirometru și corpul a cărui temperatură se măsoară, de aceea pirometrul poate fi folosit pentru corpurile a căror temperatură vrem să o măsurăm, dar, din diferite motive, nu le putem atinge.

În cazul în care vrem să înregistrăm variații foarte fine ale temperaturii, este nevoie să folosim **senzori de temperatură**. De asemenea, în spațiul cosmic (de pildă, pe Stația Spațială Internațională), termometrele cu lichid nu funcționează, iar temperatura se măsoară tot cu **senzori de temperatură**.

La adresa: <https://astro-pi.org/> găsești un proiect foarte interesant despre măsurarea temperaturii la bordul Stației Spațiale Internaționale cu ajutorul senzorilor de temperatură. Succes!



Termometru, pirometru și senzor de temperatură

Figura 1.5



### Activitate experimentală

#### *Etalonarea în grade Fahrenheit a unui termometru etalonat în grade Celsius*

##### • **Materiale necesare:**

- ▶ vas cu apă și cuburi de gheață;
- ▶ vas cu apă care începe să fiarbă;
- ▶ termometru etalonat în grade Celsius;
- ▶ marker permanent.

##### • **Mod de lucru:**

▶ Introdu rezervorul termometrului într-un amestec de apă pură în echilibru cu gheață; așteaptă realizarea echilibrului termic. Atribuie nivelului superior al coloanei de lichid valoarea 32.

▶ Pune apoi termometrul în contact cu apa care fierbe, așteaptă realizarea echilibrului termic și atribuie nivelului superior al coloanei de lichid valoarea 212. Notează cele două valori, cu un marker, pe termometru (evident, lungimea coloanei de lichid nu va fi mai mare decât în primul caz).

▶ Divide intervalul de pe scala termometrului, cuprins între cele două repere, în 180 de părți egale. Atribuie valori numerice crescătoare, de la 32 la 212, fiecărei diviziuni. Fiecare astfel de diviziune este un grad Fahrenheit, iar temperatura unui corp, măsurată cu acest termometru, va fi egală cu cifra indicată pe scala termometrului.

##### • **Sarcini de lucru și concluzii:**

▶ Temperaturii de îngheț a apei pure i se atribuie valoarea de  $32^{\circ}\text{F}$ , iar temperaturii la care fierbe apa pură la presiune atmosferică normală i se atribuie valoarea de  $212^{\circ}\text{F}$ . Știind că diviziunile (numite grade Fahrenheit) sunt egale și că ambele scări sunt liniare, stabilește *pe cale teoretică* relația dintre un grad Celsius și un grad Fahrenheit.

▶ Stabilește *pe cale teoretică* relația dintre temperaturile exprimate în grade Celsius și în grade Fahrenheit.

▶ Utilizând această relație, verifică dacă ai etalonat corect scara.

▶ Identifică cel puțin trei surse de erori pentru care etalonarea nu este perfectă.

▶ Identifică valoarea temperaturii care este aceeași pe cele două scale.

▶ Identifică, pe scara astfel etalonată, ce valoare ar avea temperatura corpului uman, exprimată în grade Celsius (amintește-ți că temperatura corpului uman a fost punct de reper pentru scara Fahrenheit).

▶ Calculează eroarea relativă cu care ai determinat temperatura de  $37^{\circ}\text{C}$  a corpului uman.



### Curiozități

• În 1592, Galileo Galilei a construit primul instrument cu care puteau fi observate variațiile de temperatură: mici baloane de sticlă ce se ridicau sau coborau în alcool odată cu modificarea temperaturii. Acest instrument, numit termoscop, nu avea scală pentru măsurarea valorii gradului de încălzire.

• Se crede că Santorio Santorio, în jurul anilor 1611 – 1613, a atașat pentru prima dată o scală unui instrument de măsurare a temperaturii.



Termoscop  
Figura I.6

- În 1701, Isaac Newton (1643 – 1727) a construit un termometru a cărui scală avea șase puncte fixe: punctul de îngheț al apei, temperatura corpului uman, punctul de topire a cerii, cel de fierbere a apei, cel de topire a unui anumit aliaj și cel de topire a plumbului.
- Primul termometru cu mercur și tub capilar închis a fost construit în 1714, de Gabriel Fahrenheit (1686 – 1736).



### Activități de învățare și de autoevaluare

1. Un termometru greșit etalonat indică în mod eronat, atunci când este introdus în apă aflată în echilibru cu gheață, temperatura de  $-6^{\circ}\text{C}$ , iar în apă aflată în echilibru cu vaporii săi,  $+109^{\circ}\text{C}$ . Experiența se desfășoară la presiune atmosferică normală. Care este temperatura reală atunci când acest termometru indică  $40^{\circ}\text{C}$ ?

2. Pe scara Rankine, stări termice în care se găsesc în echilibru apa pură și gheața la presiune atmosferică normală, i se atribuie valoarea de  $491,6^{\circ}\text{R}$ , iar stări termice în care apa pură începe să fiarbă la presiune normală, i se atribuie valoarea de  $671,6^{\circ}\text{R}$ .

- a) Care este relația între un grad Celsius și un grad Rankine?
- b) Care este relația de transformare a unei temperaturi din grade Rankine în grade Celsius?

3. Exprimă în unitatea din Sistemul Internațional următoarele temperaturi:  
 $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $17^{\circ}\text{F}$ ,  $-200^{\circ}\text{C}$ ,  $37^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{R}$ .

4. Sonda spațială Parker Solar Probe, lansată de NASA în 2018, are ca misiune principală investigarea coroanei solare. Apropiindu-se de Soare mai mult decât orice altă navă lansată de om, sonda va avea de înfruntat temperaturi extreme, de aproximativ  $2\,500^{\circ}\text{F}$ . De aceea, ea este prevăzută cu un scut de protecție termică. În scopul de a controla cât mai bine cu putință temperatura sistemului de răcire (temperatura în interiorul sondei nu trebuie să depășească  $30^{\circ}\text{C}$ ), Parker Solar Probe este prevăzută cu senzori pentru măsurarea temperaturii.



Sonda spațială Parker Solar Probe

**Figura 1.7**

- a) Indică două motive pentru care nu se pot folosi termometre cu mercur sau cu alcool la bordul sondei.
- b) Exprimă în grade Celsius temperatura maximă pe care o va avea de „înfruntat” sonda.
- c) Exprimă în unitatea din Sistemul Internațional variația maximă de temperatură dintre exteriorul și interiorul sondei spațiale.
- d) Calculează variația relativă de temperatură dintre exteriorul și interiorul sondei spațiale.
- e) Știind distanța dintre centrul Pământului și cel al Soarelui,  $D_{ps} = 8,31$  minute-lumină, raza Pământului  $R_p = 6\,371$  km, raza Soarelui  $R_s = 696\,000$  km, distanța minimă față de centrul Soarelui la care se va apropia naveta  $R_s = 9,86$  raze solare și viteza navetei (într-o bună aproximație)  $v = 690\,000$  km/h, calculează după cât timp va ajunge naveta la destinație (presupunând că traiectoria sa este rectilinie).

**Indicație:** Un an-lumină reprezintă distanța parcursă de lumină în timp de un an.

### I.3. Căldura, mărime de proces

Vasele de termos (vase care mențin băuturile la temperatură aproape constantă) au pereți de sticlă dubli, cu suprafețele interioare și exterioare reflectoare. Între pereți se realizează vid, iar vasul este montat în termos, pe un suport (garnitură) de cauciuc.

Care este, oare, motivul pentru care se iau aceste măsuri?



#### Activitate experimentală

- Pregătește în două vase cantități egale de apă fierbinte și apă foarte rece. Măsoară și notează în caiet temperaturile apei din cele două vase.
- Toarnă cele două cantități de lichid într-un calorimetru. Așteaptă un timp suficient de lung pentru a se realiza echilibrul termic în calorimetru și măsoară, cu același termometru, temperatura amestecului. Notează această valoare în caiet.
- Repetă experimentul dublând cantitatea de apă fierbinte, dar păstrând valorile temperaturilor inițiale ale celor două lichide.
- Repetă experimentul dublând cantitatea de apă rece și păstrând valorile temperaturilor inițiale ale lichidelor. Vei observa că, de fiecare dată, se modifică valoarea temperaturii de echilibru a amestecului obținut, dar, de fiecare dată, această valoare este mai mică decât temperatura apei fierbinți și mai mare decât temperatura apei reci.



#### Concluzie

Ca urmare a contactului termic între corpuri cu temperaturi diferite, în timpul procesului realizării echilibrului termic se transferă energie sub formă de căldură de la corpul cu temperatură mai mare la corpul cu temperatură mai mică.



#### Reține!

**Căldura** este o mărime fizică scalară ce caracterizează un proces (spre deosebire de temperatură, care caracterizează o stare a sistemului) și reprezintă forma sub care energia se transmite între corpuri cu temperaturi diferite, aflate în contact termic.



#### Curiozități

La scară microscopică, căldura reprezintă transfer de energie cinetică între particule, care se mișcă cu viteze diferite. În timpul procesului de realizare a echilibrului termic, particulele cu energie mai mare le vor „accelera” pe cele mai lente, ajungându-se în final ca toate particulele sistemului să aibă aproximativ aceeași energie.



#### Reține!

Căldura se măsoară, în Sistemul Internațional de Unități, în **joule**:  $[Q]_{SI} = J$

## I.4. Transmiterea căldurii (prin conducție, convecție, radiație)

Căldura se transferă de la corpul mai cald la corpul mai rece, în mod spontan.



### Reține!

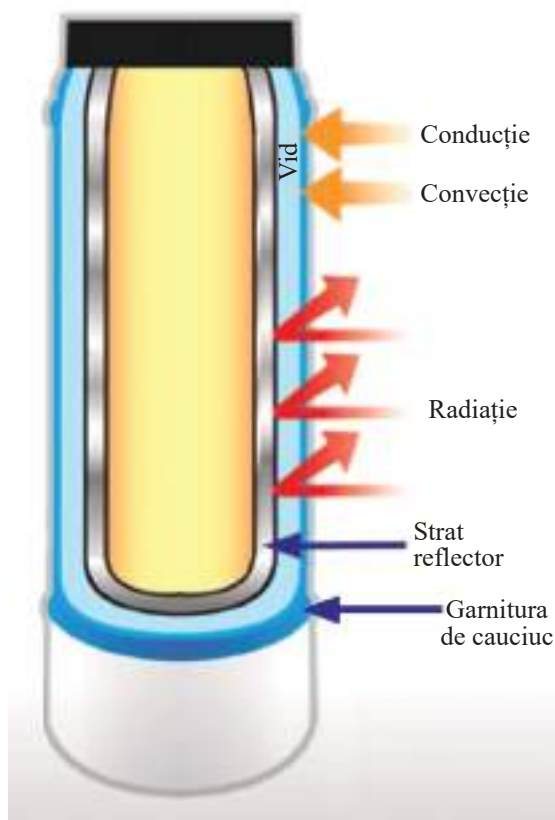
Transmiterea căldurii de la corpul mai cald la corpul mai rece se poate face:

- **prin conducție;**
- **prin convecție;**
- **prin radiație.**

Transferul căldurii **prin conducție** se realizează atunci când corpurile sau substanțele cu temperaturi diferite sunt puse în contact, astfel încât să se permită transferul căldurii, dar neînsoțit de transfer de masă. (Lingurița rece, pusă în contact cu ceaiul cald, se va încălzi.)

Transferul căldurii prin convecție se realizează atunci când corpurile sau substanțele cu temperaturi diferite sunt puse în contact, astfel încât să se permită transferul căldurii din cauza unui transfer de masă. Modificarea stării termice **prin convecție** se datorează căldurii transferate de un fluid aflat în mișcare. (Căldura **transferată de curenții de aer** din vecinătatea unei flăcări poate fi simțită, dacă ții mâna deasupra flăcării.)

Dacă în cazul transferului de căldură prin conducție și **prin convecție** este nevoie de un mediu prin care să se propage energia termică, transferul de căldură **prin radiație** se poate face și prin vid. Atunci când radiația termică întâlnește un corp, energia transferată de ea se transformă (total sau parțial) în energie de agitație termică. (Un exemplu de radiație termică sunt radiațiile emise de Soare. Așa putem explica încălzirea Pământului și a celorlalte planete din sistemul solar.)



Vas de termos

Figura I.8

Să revenim acum la întrebarea de la începutul lecției. Folosind noțiunile de **conducție**, **convecție** și **radiație**, putem observa că realizarea vidului între pereți se face pentru a împiedica transferul de căldură prin convecție, pereții reflectori împiedică trecerea radiației termice în și dinspre vas, iar suportul de cauciuc previne transferul de căldură prin conducție, cauciucul fiind un bun izolator termic.



### Reține!

**Căldura** măsoară transferul de energie între două sisteme care au temperaturi diferite.



## I.5. Extindere în tehnologie: motorul termic (calitativ)

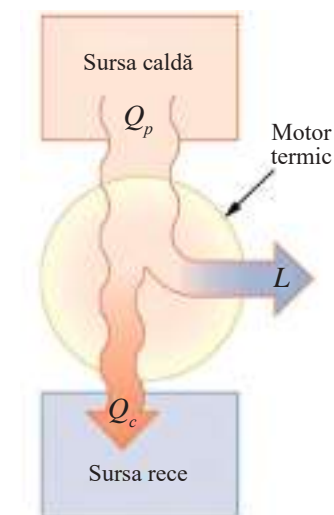
Transferul de energie sub formă de căldură are numeroase aplicații practice. O astfel de aplicație este **motorul termic**. Un motor termic este un dispozitiv **care transformă parțial căldura în lucru mecanic**. Motorul termic are o funcționare ciclică. O parte din căldura obținută prin arderea în motor a unui combustibil (cărbune, benzină, motorină etc.) este transformată în lucru mecanic. Restul de căldură este transferat unui sistem cu temperatură mai mică, numit sursă rece.

Motoarele termice se clasifică în:

- motoare cu ardere externă;
- motoare cu ardere internă.

În cazul motoarelor cu ardere externă, sursa de căldură este externă fluidului ce suferă procesul ciclic. Astfel de motoare sunt motoarele cu abur.

În cazul motoarelor cu ardere internă, căldura este generată în procesul de combustie suferit de fluidul supus procesului ciclic. Acest fluid își mărește presiunea și apasă pe pistonul mobil al unui cilindru, punându-l în mișcare. Astfel de motoare sunt motoarele Otto, Diesel etc. Schema de funcționare a unui motor termic cu ardere internă este prezentată în figura alăturată.



Funcționarea unui motor termic  
**Figura I.9**



### Observație

#### Randamentul unui motor termic cu ardere internă

• În cazul motoarelor termice cu ardere internă, căldura generată prin arderea combustibilului reprezintă căldura primită de fluid, iar partea utilă este fracțiunea din aceasta convertită în lucrul mecanic:

$$\eta = \frac{L}{Q_{\text{primit}}}$$

Partea care nu este transformată în lucru mecanic și este transferată sursei reci se numește căldură cedată (considerată prin convenție negativă):

$$Q_{\text{primit}} = L + |Q_{\text{cedat}}|$$

Deci, în funcție de căldura cedată și de cea primită, putem exprima randamentul unui motor astfel:

$$\eta = \frac{L}{Q_{\text{primit}}} = \frac{Q_{\text{primit}} - |Q_{\text{cedat}}|}{Q_{\text{primit}}} = 1 - \frac{|Q_{\text{cedat}}|}{Q_{\text{primit}}} < 1$$



### Reține!

Randamentul unui motor termic este o mărime fizică adimensională și este întotdeauna subunitar:

$$\eta < 1$$

## I.6. Coeficienți calorici. Calorimetrie

Două corpuri care primesc aceeași cantitate de căldură se vor încălzi la fel de mult? Este dependența dintre variația de temperatură a unui corp și căldura schimbată cu exteriorul influențată de natura corpului? Dar de condițiile fizice în care se desfășoară experimentul? Realizează următorul experiment pentru a răspunde la aceste întrebări.





### Activitate experimentală

- În două calorimetre identice, pregătește cantități egale de apă fierbinte, la aceeași temperatură (de exemplu, la 80°C).
- Notează temperatura apei din calorimetre, în caiet. Introdu în calorimetre două corpuri identice ca formă și dimensiuni, dar din materiale diferite, aflate la temperatura camerei (de exemplu, două bile de raze egale, una din plastic și una din fier).
- Așteaptă un timp suficient de lung pentru a se realiza echilibrul termic și măsoară din nou temperatura din cele două calorimetre. Vei constata că temperaturile din calorimetre sunt diferite.



### Concluzie

Între căldura schimbată de un corp și variația temperaturii sale există o dependență care este determinată de natura corpului. Mărimile fizice care stabilesc o legătură cantitativă între căldura  $Q$  primită sau cedată de un corp și variația  $\Delta T$  a temperaturii sale se numesc **coeficienți calorici**. Acestea sunt **capacitatea calorică**, **căldura specifică** și **căldura molară**. Pentru intervale de temperatură pentru care coeficienții calorici sunt constanți, ei pot fi definiți în modul următor:



### Reține!

**Capacitatea calorică  $C$  a unui corp** este mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară unui corp pentru a-și varia temperatura cu un kelvin:  $C = \frac{Q}{\Delta T}$

În Sistemul Internațional de Unități, unitatea de măsură pentru capacitatea calorică este:

$$[C]_{SI} = \frac{[Q]_{SI}}{[\Delta T]_{SI}} = \frac{J}{K}$$

Capacitatea calorică este o caracteristică termică a corpului. De exemplu, două corpuri confecționate din același material, dar de dimensiuni diferite, vor avea capacități calorice diferite.



### Reține!

Numim **căldură specifică  $c$  a unei substanțe**, mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară unității de masă din substanța respectivă pentru a-și varia temperatura cu un kelvin:  $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$

În sistemul internațional de unități, unitatea de măsură pentru căldura specifică este:

$$[c]_{SI} = \frac{[Q]_{SI}}{[m]_{SI} \cdot [\Delta T]_{SI}} = \frac{J}{kg \cdot K}$$

Căldura specifică este independentă de valoarea masei corpului.



### Reține!

Numim **căldură molară a unei substanțe,  $C_v$** , mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară unui mol din acea substanță pentru a-și varia temperatura cu un kelvin:  $C_v = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T}$

În Sistemul Internațional de Unități, unitatea de măsură pentru căldura molară este:

$$[C_v]_{SI} = \frac{[Q]_{SI}}{[v]_{SI} \cdot [\Delta T]_{SI}} = \frac{J}{\text{mol} \cdot K}$$

Pentru corpurile solide și lichide, căldura specifică și căldura molară depind doar de natura substanței din care este făcut corpul; pentru gaze, ele depind atât de natura gazului, cât și de condițiile fizice în care are loc schimbul de căldură cu exteriorul. În tabelul alăturat sunt trecute valorile căldurii specifice pentru câteva substanțe.

| Substanța     | Căldura specifică (J/kgK) |
|---------------|---------------------------|
| Aluminiu      | 920                       |
| Cupru         | 385                       |
| Apă           | 4185                      |
| Vapori de apă | 1996                      |

**Calorimetria** se ocupă cu măsurarea căldurii și a coeficienților calorici.



### Reține!

Într-un sistem izolat, format din corpuri cu temperaturi diferite aflate în contact termic, după un timp mai scurt sau mai lung se realizează echilibrul termic. Unele corpuri cedează căldură, iar altele primesc căldură:

$$Q_{\text{primit}} + Q_{\text{cedat}} = 0$$

Prin convenție, căldura primită se consideră pozitivă, iar căldura cedată se consideră negativă:

$$Q_{\text{primit}} - |Q_{\text{cedat}}| = 0 \Rightarrow Q_{\text{primit}} = |Q_{\text{cedat}}|$$



### Reține!

Căldura primită de un corp pentru a-și mări temperatura cu un număr de grade este egală cu căldura cedată de același corp pentru a se răci cu același număr de grade.



### Activitate experimentală

#### Determinarea căldurii specifice a unui corp solid

##### • Materiale necesare:

- calorimetru (dispozitiv care permite schimbul de căldură între corpurile aflate în interiorul lui, dar împiedică schimbul de căldură al acestora cu mediul exterior) de capacitate calorică  $C$  cunoscută;
- un corp de masă  $m_1$  cunoscută, a cărui căldură specifică  $c_1$  trebuie determinată;
- un lichid (de preferat, apă) de masă  $m_2$ , a cărui căldură specifică  $c_2$  este cunoscută;
- balanță, măsură gradată și termometru.

##### • Teoria lucrării:

Dacă se pun în calorimetru mai multe corpuri cu temperaturi diferite, după un timp oarecare se va stabili echilibrul termic între temperatura calorimetrului și temperaturile corpurilor aflate în el. Scriind ecuația  $Q_{\text{primit}} + Q_{\text{cedat}} = 0$ , vom obține:

$$(m_2 \cdot c_2 + C)(t_{\text{ech}} - t_2) + (m_1 \cdot c_1)(t_{\text{ech}} - t_1) = 0$$

$$(m_2 \cdot c_2 + C)(t_{\text{ech}} - t_2) = (m_1 \cdot c_1)(t_1 - t_{\text{ech}})$$

$$c_1 = \frac{(m_2 \cdot c_2 + C)(t_{\text{ech}} - t_2)}{m_1(t_1 - t_{\text{ech}})}$$

• **Mod de lucru:**

► Determină, cu ajutorul măsurii, volumul de lichid (apă) pe care îl vei introduce în calorimetru. Notează valoarea în caiet.

► Știind că densitatea apei este  $\rho = 1\,000\text{ kg/m}^3$ , calculează masa  $m_2$  a apei turnate în calorimetru. Notează valoarea în caiet.

► Cu ajutorul balanței, măsoară masa corpului a cărei căldură specifică trebuie determinată și notează această valoare în caiet.

► Încălzește lichidul până aproape de temperatura de fierbere.

► Toarnă lichidul în calorimetru. După ce ai așteptat un timp suficient de lung, necesar stabilirii echilibrului termic între temperatura calorimetrului și cea a lichidului introdus, citește, cu ajutorul termometrului, valoarea temperaturii lichidului. Notează valoarea citită în caiet.

► Citește, cu ajutorul termometrului, valoarea temperaturii corpului de masă  $m_1$ .

► Introdu acest corp în calorimetru. Așteaptă să se realizeze echilibrul termic și citește, cu ajutorul termometrului, valoarea temperaturii din calorimetru. Notează valoarea citită în caiet.

► Repetă experimentul pentru alte patru temperaturi inițiale ale apei din calorimetru.

► Calculează valoarea căldurii specifice  $c_1$ .

• **Date experimentale. Prelucrarea datelor experimentale**

► Înregistrează datele într-un tabel de forma:

| Nr. crt. | $C$<br>(J/K) | $m_1$<br>(Kg) | $m_2$<br>(Kg) | $c_2$<br>(J/kgK) | $t_1$<br>(°C) | $t_2$<br>(°C) | $t_{ech}$<br>(°C) | $c_1$<br>(J/kgK) | $\bar{c}_1$<br>(J/kgK) | $\Delta c_1$<br>(J/kgK) | $\overline{\Delta c}_1$<br>(J/kgK) |
|----------|--------------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|-------------------|------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1.       |              |               |               |                  |               |               |                   |                  |                        |                         |                                    |
| 2.       |              |               |               |                  |               |               |                   |                  |                        |                         |                                    |
| 3.       |              |               |               |                  |               |               |                   |                  |                        |                         |                                    |
| 4.       |              |               |               |                  |               |               |                   |                  |                        |                         |                                    |
| 5.       |              |               |               |                  |               |               |                   |                  |                        |                         |                                    |

► Calculează valoarea medie a căldurii specifice  $c_1$ , eroarea relativă și valoarea medie a erorii relative pentru căldura specifică  $c_1$ .

► Prezintă rezultatul sub forma:  $c_1 = (\bar{c}_1 \pm \overline{\Delta c}_1)$ .

► Identifică cel puțin trei surse de erori.



**Curiozități**

• Capacitatea unui diamant de a conduce căldura este de aproape șase ori mai mare decât cea a argintului. O linguriță din diamant ar fi imposibil de folosit, deoarece degetele s-ar frige în clipa în care am cufunda-o în ceai fierbinte.

• Centrul Soarelui este cel mai fierbinte loc din Sistemul Solar. Temperatura în centrul Soarelui este de aproximativ 15 000 000 000 K, în timp ce, la suprafața Soarelui, temperatura este de „doar” 5 700 K.

• Centrul Pământului are aproximativ aceeași temperatură ca suprafața Soarelui, în timp ce nucleul lui Jupiter are o temperatură de cinci ori mai mare decât temperatura de la suprafața Soarelui.

• Cele mai reci locuri din Sistemul Solar sunt craterele de pe fața umbrită a Lunii. Temperaturile înregistrate de modulul *NASA Lunar Reconnaissance Orbiter* sunt chiar mai mici decât cele de pe Pluto.

• Deși în spațiul cosmic este foarte frig, părțile din metal ale obiectelor care orbitează în spațiu se pot încălzi chiar până la 500 grade Fahrenheit (260°C) datorită căldurii primite de la Soare; acestea trebuie acoperite pentru a le scădea temperatura la 250 grade Fahrenheit (120°C).



### Activități de învățare și de autoevaluare

1. Stabilește relația matematică între capacitatea calorică și căldura specifică.
2. Stabilește relația matematică între căldura specifică și căldura molară.
3. Calculează căldura necesară unei mase de apă,  $m = 5$  kg, pentru a se încălzi de la 20°C la 393 K. Folosește valoarea căldurii specifice a apei dată în tabelul de la pagina 23.
4. O sferă de platină de rază  $r = 5$  cm ( $\rho_{Pt} = 22,07$  g/cm<sup>3</sup>,  $c_{Pt} = 120$  J/kgK), aflată la temperatura  $t = 95^\circ\text{C}$ , se cufundă în 2 l de apă aflată la temperatura  $t = 4^\circ\text{C}$ , într-un calorimetru cu capacitate calorică neglijabilă. Care va fi temperatura de echilibru?
5. Într-o cantitate  $m = 25,5$  kg de apă, cu temperatura de 12,5°C, aflată într-un calorimetru cu capacitate calorică neglijabilă, se introduc 6,17 kg dintr-un metal cu temperatura de 80°C. Temperatura de echilibru devine 14,5°C. Ce valoare are căldura specifică a acestui metal?

## I.7. Stări de agregare, caracteristici

Se poate găsi pe Pământ argint în stare naturală gazoasă? Dar heliu solid? „Preferă” diversele substanțe o anumită stare de agregare? Efectuează următorul experiment pentru a putea răspunde la aceste întrebări.



### Activitate experimentală

- Pregătește apă caldă într-un vas metalic (suficient de mare).
- În alt vas, pregătește câteva cubulețe de gheață.
- Pune cubulețele de gheață în vasul cu apă caldă. Gheața, în contact cu apa caldă, începe să se topească. Spunem că ea își schimbă **starea de agregare**.
  - Măsoară temperatura amestecului din momentul începerii topirii gheții și până când aceasta se topește complet. Notează această valoare în caiet.
  - Pune vasul în care se află amestecul rezultat pe flacăra unei spirtiere. Apa va începe să fiarbă. Din nou spunem că se schimbă **starea de agregare**.
  - Măsoară temperatura la care apa începe să fiarbă, apoi repetă măsurarea temperaturii în timpul fierberii apei. Notează valorile acestor temperaturi în caiet. Repetă experiența pentru apă în care ai dizolvat sare.



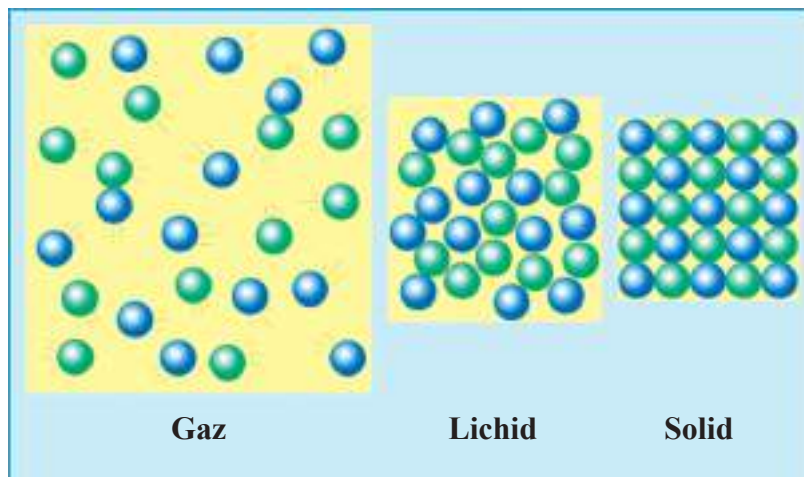
### Concluzie

Așa cum știi din clasa a VI-a, **starea de agregare** este o formă de organizare a materiei, omogenă din punct de vedere al proprietăților fizice și chimice. În experimentul anterior, ai observat că schimbarea stării de agregare se face la o temperatură constantă, caracteristică fiecărei substanțe. Stările de agregare pot fi caracterizate prin libertatea de mișcare a particulelor constitutive și prin intensitatea (tăria) forței de interacțiune dintre particulele respective. Substanțele nu „preferă” o anumită stare de agregare. Temperatura și presiunea atmosferică sunt cele „responsabile” pentru starea de agregare în care se găsesc substanțele. De exemplu, temperatura atmosferei terestre „ține” oxigenul în stare gazoasă și apa în stare lichidă, solidă sau de vapor. Dacă în minereurile aurifere temperatura ar depăși 2 856°C (punctul de fierbere al aurului) aurul s-ar afla în stare gazoasă. Clasic, există trei stări de agregare: **solidă**, **lichidă** și **gazoasă**.



### Reține!

Clasic, există trei stări de agregare: **solidă, lichidă și gazoasă**. Pentru o substanță dată, fiecare stare de agregare este caracterizată de proprietăți chimice și fizice distincte.



Stări de agregare

Figura I.10

Forțele de interacțiune dintre particulele constituente ale **corpurilor solide** sunt suficient de puternice încât să mențină fixe atât forma, cât și volumul corpurilor respective. În cazul corpurilor solide, particulele constituente au un aranjament spațial ordonat; ele execută ușoare mișcări de vibrație în jurul pozițiilor fixe pe care le ocupă și pe care nu le pot părăsi de la sine.

**Particulele constituente ale lichidelor** au o mai mare libertate de mișcare decât cele ale solidelor. Forțele de interacțiune dintre particulele constituente ale lichidelor sunt suficient de puternice încât să mențină volumul propriu, dar nu și forma. Lichidele nu au formă proprie, ele iau forma vaselor în care sunt turnate. Ca și solidele, lichidele sunt practic incompresibile.

**Gazele** nu au nici formă proprie, nici volum propriu. Teoretic, se consideră că nu există forțe de interacțiune între particulele constituente. În realitate, aceste forțe sunt atât de mici încât nu pot menține constante nici forma, nici volumul. Gazele iau forma vasului în care sunt introduse și pot fi comprimate.

## I.8. Extindere: Transformări de stare

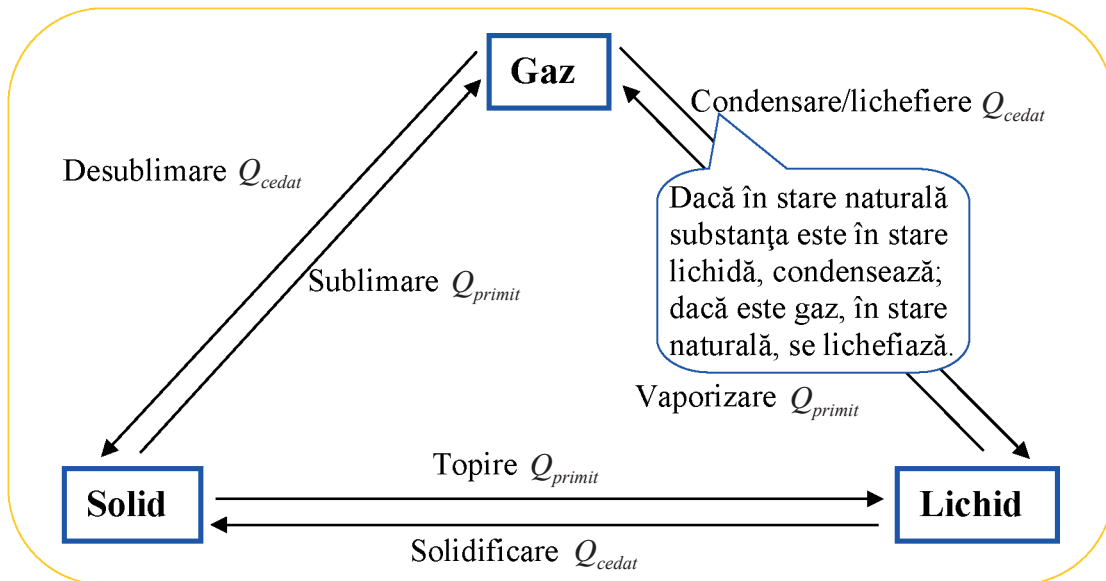
Din experimentul efectuat ai observat că, pentru a fierbe, apei trebuie să i se transmită căldură. Substanțele care își modifică starea de agregare schimbă căldură cu mediul exterior. Această căldură, numită căldură latentă de schimbare de stare de agregare, este folosită de substanța respectivă pentru a-și modifica structura internă.



### Reține!

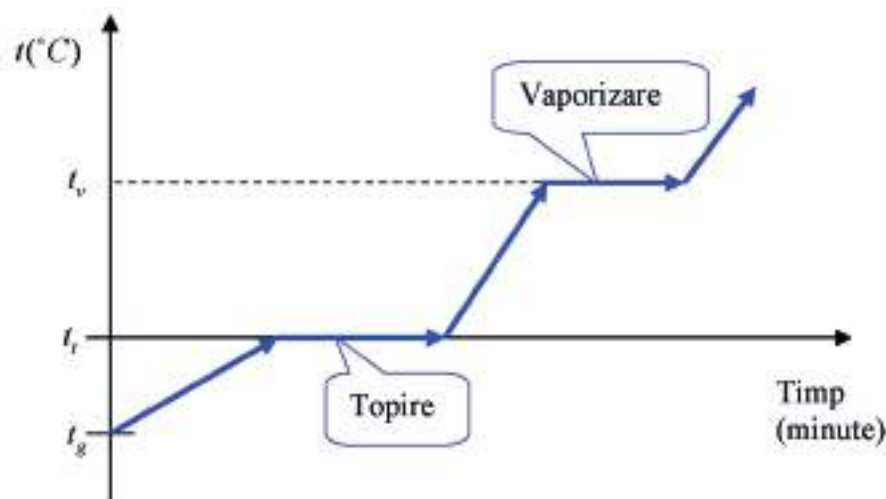
Schimbarea stării de agregare se face cu absorbție sau cu cedare de căldură, dar temperatura substanței nu se modifică în timpul procesului.

În timpul schimbării stării de agregare volumul substanței se modifică, dar masa substanței rămâne constantă.



Temperatura la care se schimbă starea de agregare, constantă pentru o substanță dată, depinde de presiunea atmosferică. De exemplu, la presiune atmosferică normală, apa fierbe la  $100^{\circ}\text{C}$  (știi din clasa a VI-a că fierberea reprezintă procesul de vaporizare în toată masa lichidului). Pe muntele Everest, la altitudini de peste 7 000 m, presiunea atmosferică scade la aproximativ  $2/5$  din valoarea normală, iar punctul de fierbere al apei coboară la aproximativ  $75^{\circ}\text{C}$ . De aceea alpinii spun că ceaiul nu are gust, iar ouăle nu pot fi fierte bine.

Comunicându-i-se o cantitate suficientă de căldură, o masă oarecare de gheață, aflată la temperatura  $t_g < 0^{\circ}\text{C}$ , se va încălzi până la temperatura de topire  $t_i = 0^{\circ}\text{C}$ . Ajunsă la această temperatură, gheața va folosi în continuare căldura primită pentru a-și schimba starea de agregare. Schimbarea stării de agregare se va face la temperatură constantă, ca în diagrama următoare.



Transformată în apă, substanța va primi în continuare căldură, până la temperatura de vaporizare  $t_v = 100^{\circ}\text{C}$ . Ajunsă la această temperatură, apa își va schimba starea de agregare și se va transforma în vapori (pe tot parcursul vaporizării, temperatura nu se va modifica). În continuare, vaporii de apă se vor încălzi până încetează procesul de transmitere de căldură din exterior.

## I.9. Extindere interdisciplinară: studiul schimburilor de căldură implicate de topirea gheții (călduri latente)

Ai învățat că procesul de trecere din stare solidă în stare lichidă se numește topire. Procesul are loc la o temperatură bine determinată și se face cu absorbție de căldură. Căldura absorbită se numește căldură latentă de topire și este o măsură a variației energiei interne de legătură dintre particulele constituente. Procesul de trecere din stare lichidă în stare solidă se numește solidificare și se face cu cedare de căldură la temperatură constantă. Căldura cedată se numește căldură latentă de solidificare. Pentru o substanță dată, solidificarea și topirea se fac la aceeași temperatură.



### Reține!

Numim **căldură latentă specifică de solidificare**,  $\lambda$ , căldura latentă necesară unității de masă dintr-o substanță pentru a se solidifica:  $\lambda = \frac{Q}{m}$

Unitatea de măsură pentru căldura latentă specifică este:  $[\lambda]_{SI} = \frac{[Q]_{SI}}{[m]_{SI}} = \frac{J}{kg}$

În general, pentru majoritatea substanțelor, volumul crește în procesul de topire. Pentru apă (ca și pentru bismut, germaniu etc.), volumul crește în procesul de solidificare. Această comportare are implicații în biologie și în tehnică. De exemplu, atunci când se proiectează conductele prin care circulă apă, trebuie să se țină cont că, în procesul de înghețare, substanța își crește volumul.



### Observație

În general, numim **căldură latentă specifică de schimbare de stare de agregare** căldura necesară unității de masă dintr-o substanță pentru a-și schimba starea de agregare:  $\lambda = \frac{Q}{m}$

Unitatea de măsură a căldurii latente specifice de schimbare de stare de agregare este:

$$[\lambda]_{SI} = \frac{J}{kg}$$



### Reține!

Căldura latentă primită sau modulul căldurii latente cedate poate fi exprimată în funcție de căldura specifică latentă astfel:

$$Q = m \cdot \lambda$$



### Reține!

Pentru o aceeași substanță, între căldurile latente specifice există relațiile:

$$\begin{aligned}\lambda_{desublimare} &= \lambda_{sublimare} \\ \lambda_{vaporizare} &= \lambda_{condensare} \\ \lambda_{solidificare} &= \lambda_{topire}\end{aligned}$$

Între căldura latentă specifică de desublimare, cea de condensare și cea de solidificare există relația:

$$\lambda_{desublimare} = \lambda_{condensare} + \lambda_{solidificare}$$

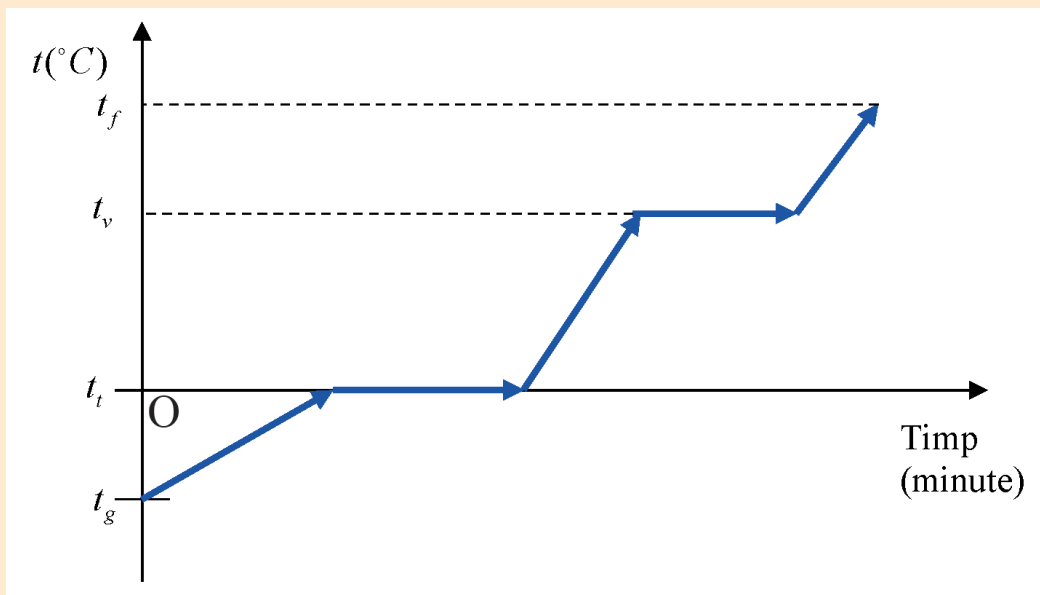


☑ **Probleme rezolvate**

1. Să se calculeze căldura necesară unei mase de gheață  $m$ , aflată la temperatura  $t_g < 0^\circ\text{C}$ , pentru a se transforma în vapori la temperatura  $t_f > 100^\circ\text{C}$ . Se cunosc: masa  $m$ , căldura specifică a gheții  $c_g$ , căldura specifică a apei  $c_a$ , căldura specifică a vaporilor  $c_v$ , căldura latentă specifică de topire a gheții  $\lambda_t$ , căldura latentă specifică de vaporizare  $\lambda_v$ .

**Rezolvare**

Se realizează o diagramă ca cea de mai jos. Se marchează pe axa  $Ot$  temperatura inițială, cea finală, precum și temperaturile la care se schimbă starea de agregare:



Se calculează căldura  $Q_1$  necesară gheții pentru a ajunge de la temperatura  $t_g$  la temperatura  $t_t$ :

$$Q_1 = m \cdot c_g \cdot (t_t - t_g)$$

Se calculează căldura  $Q_2$  necesară gheții pentru a se topi (nu uita, schimbarea de stare de agregare se face la temperatură constantă):

$$Q_2 = m \cdot \lambda_t$$

Se calculează căldura  $Q_3$  necesară apei pentru a ajunge de la temperatura de topire  $t_t$  la temperatura de vaporizare  $t_v$ :

$$Q_3 = m \cdot c_a \cdot (t_v - t_t)$$

Se calculează căldura  $Q_4$  necesară apei pentru a se vaporiza:

$$Q_4 = m \cdot \lambda_v$$

Se calculează căldura  $Q_5$  necesară vaporilor pentru a se încălzi de la temperatura de vaporizare  $t_v$  la temperatura finală  $t_f$ :

$$Q_5 = m \cdot c_v \cdot (t_f - t_v)$$

Căldura necesară va fi suma căldurilor implicate în proces:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = m \cdot c_g \cdot (t_t - t_g) + m \cdot \lambda_t + m \cdot c_a \cdot (t_v - t_t) + m \cdot \lambda_v + m \cdot c_v \cdot (t_f - t_v)$$

$$Q = m \cdot (c_g \cdot (t_t - t_g) + \lambda_t + c_a \cdot (t_v - t_t) + \lambda_v + c_v \cdot (t_f - t_v))$$

### ☑ Probleme rezolvate

2. Într-un calorimetru cu capacitatea calorică neglijabilă, se află în echilibru termic mase egale de apă și gheață. Se trece prin amestecul de apă și gheață o masă egală de vapori aflați la temperatura  $t_l = 100^\circ\text{C}$ . Știind căldurile latente specifice de topire, respectiv de vaporizare  $\lambda_t = a \cdot c$  și  $\lambda_v = b \cdot c$ , unde  $a$  și  $b$  sunt două constante pozitive ( $a = 80 \text{ K}$ ,  $b = 539 \text{ K}$ ), iar  $c$  este căldura specifică a apei, aflați ce fracțiune  $f$  din masa de vapori se condensează. Se consideră neglijabil schimbul de căldură dintre sistemul termodinamic descris și mediul exterior.

#### Rezolvare

Inițial, masele de apă și gheață sunt în echilibru termic, deci temperatura este  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . Deoarece doar o fracțiune din masa de vapori condensează, temperatura finală va fi  $t_f = 100^\circ\text{C}$ .

Scriind ecuația:

$$|Q_{\text{cedat}}| = Q_{\text{primit}}$$

$$\text{vom obține: } (2m \cdot c)(t_f - t_0) + m \cdot \lambda_t = f \cdot m \cdot \lambda_v \Rightarrow f = \frac{(2c)(t_f - t_0) + \lambda_t}{\lambda_v}$$

$$f = \frac{(2c)(100) + 80 \cdot c}{539 \cdot c} = \frac{280}{539}$$



### Activitate experimentală

#### Determinarea căldurii latente specifice a gheții

##### • Materiale necesare:

- cuburi de gheață de masă totală  $m_1$ ;
- calorimetru cu capacitatea calorică  $C$  cunoscută ;
- un lichid (de preferat apă) de masă  $m_2$ , a cărui căldură specifică  $c_2$  este cunoscută;
- balanță, măsură gradată și termometru.

##### • Teoria lucrării

Dacă se pun în calorimetru mai multe corpuri cu temperaturi diferite, cu stări de agregare diferite, după un timp oarecare se va stabili echilibrul termic între calorimetru și corpurile aflate în el. Să presupunem că temperatura inițială a corpului de masă  $m_1$  (cel care își va schimba starea de agregare din stare, de exemplu, solidă în stare lichidă) este mai mică decât temperatura de schimbare a stării de agregare. Scriind ecuația:  $Q_{\text{primit}} + Q_{\text{cedat}} = 0$  vom obține:

$$(m_2 \cdot c_2 + C)(t_2 - t_{\text{ech}}) = m_1 \cdot c_1(t_{\text{ech}} - t_l) + m_1 \cdot c_3 \cdot (t_l - t_1) + m_1 \cdot \lambda$$

$$(m_2 \cdot c_2 + C)(t_2 - t_{\text{ech}}) - m_1 \cdot c_1(t_{\text{ech}} - t_l) - m_1 \cdot c_3 \cdot (t_l - t_1) = m_1 \cdot \lambda$$

$$\lambda = \frac{(m_2 \cdot c_2 + C)(t_2 - t_{\text{ech}}) - m_1 \cdot c_1(t_{\text{ech}} - t_l) - m_1 \cdot c_3 \cdot (t_l - t_1)}{m_1}$$

(am notat cu  $c_3$  căldura specifică a corpului de masă  $m_1$  aflat în stare solidă, cu  $c_1$  căldura specifică a aceluiași corp aflat în stare lichidă, cu  $t_l$  temperatura de schimbare de stare de agregare, cu  $t_1$  temperatura inițială a corpului de masă  $m_1$  și cu  $t_2$  temperatura inițială a corpului de masă  $m_2$ ).

##### • Mod de lucru:

► Determină, cu ajutorul măsurii, volumul de lichid (apă) pe care îl vei introduce în calorimetru. Notează valoarea în caiet.

► Știind că densitatea apei este  $\rho = 1\,000\text{ kg/m}^3$ , calculează masa  $m_a$  a apei turnate în calorimetru. Notează valoarea în caiet.

► Cu ajutorul balanței, măsoară masa cuburilor de gheață (a căror căldură latentă specifică trebuie determinată) și notează această valoare în caiet.

► Încălzește lichidul până aproape de temperatura de fierbere.

► Toarnă lichidul în calorimetru. După ce ai așteptat un timp suficient de lung, necesar stabilirii echilibrului termic între temperatura calorimetrului și cea a lichidului introdus, citește cu ajutorul termometrului valoarea temperaturii lichidului. Notează valoarea citită în caiet.

► Citește, cu ajutorul termometrului, valoarea temperaturii corpului de masă  $m_1$  (a cuburilor de gheață).

► Introdu cuburile în calorimetru. Așteaptă să se realizeze echilibrul termic și citește, cu ajutorul termometrului, valoarea temperaturii din calorimetru. Notează valoarea citită în caiet.

► Repetă experimentul pentru alte patru temperaturi inițiale ale apei din calorimetru.

► Calculează valoarea căldurii latente specifice  $\lambda$ .

● **Date experimentale. Prelucrarea datelor experimentale**

► Înregistrează datele într-un tabel de forma:

| Nr. crt. | $C$<br>(J/K) | $m_1$<br>(Kg) | $m_2$<br>(Kg) | $c_1$<br>(J/kgK) | $c_2$<br>(J/kgK) | $c_3$<br>(J/kgK) | $t_1$<br>(°C) | $t_2$<br>(°C) | $t_{ech}$<br>(°C) | $\lambda$<br>(J/kg) | $\bar{\lambda}$<br>(J/kg) | $\Delta\lambda$<br>(J/kg) | $\overline{\Delta\lambda}$<br>(J/kg) |
|----------|--------------|---------------|---------------|------------------|------------------|------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 1.       |              |               |               |                  |                  |                  |               |               |                   |                     |                           |                           |                                      |
| 2.       |              |               |               |                  |                  |                  |               |               |                   |                     |                           |                           |                                      |
| 3.       |              |               |               |                  |                  |                  |               |               |                   |                     |                           |                           |                                      |
| 4.       |              |               |               |                  |                  |                  |               |               |                   |                     |                           |                           |                                      |
| 5.       |              |               |               |                  |                  |                  |               |               |                   |                     |                           |                           |                                      |

► Calculează valoarea medie a căldurii latente specifice  $\lambda$ , eroarea relativă și valoarea medie a erorii relative pentru căldura latentă specifică  $\lambda$ .

► Prezintă rezultatul sub forma:  $\lambda = (\bar{\lambda} \pm \overline{\Delta\lambda})$ .

► Identifică cel puțin trei surse de erori.

## I.10. Extindere în tehnologie: stabilirea temperaturii de echilibru în sisteme neomogene

Un sistem format din mai multe substanțe sau corpuri puse în contact este un sistem neomogen dacă ne referim la proprietățile sale fizice și chimice, dar poate fi considerat ca fiind alcătuit din subsisteme omogene din punct de vedere al proprietăților fizice și chimice, numite faze. Amestecul de apă și gheață este un sistem neomogen, alcătuit din două faze: apa și gheața. Starea de echilibru termic a unui sistem este definită de temperatura de echilibru,  $T$ . Pentru o aceeași substanță, pot coexista, în echilibru, mai multe faze.

De exemplu, **punctul triplu** al unei substanțe reprezintă starea unică în care coexistă, în echilibru, cele trei stări de agregare ale substanței respective: solidă, lichidă și gazoasă. În cazul apei, în punctul triplu coexistă apă, vapori de apă și gheață. În această unică stare, masele de apă, vapori și gheață nu se modifică una pe seama alteia; spunem că substanțele se află în echilibru dinamic.

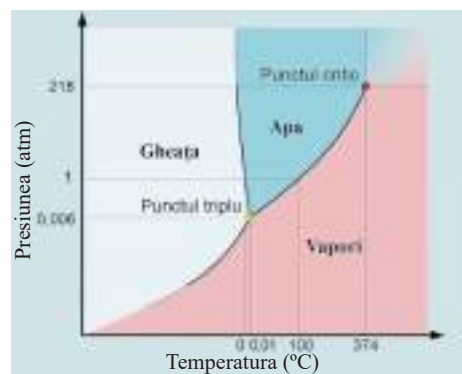
Parametrii punctului triplu depind de natura substanței. Pentru apă, parametrii punctului triplu au valorile  $T_i = 273,16\text{ K}$  și  $p_i = 611,2\text{ Pa}$ .

Din diagrama alăturată se observă că, la presiuni mici și la temperaturi mari, apa se găsește în stare de vapori.

Parametrii punctului triplu sunt constanți pentru o substanță dată. Acest lucru a făcut posibilă folosirea punctului triplu al apei ca limită de interval pentru definirea kelvinului.

Se numește **kelvin**  $\frac{1}{273,16}$  din temperatura stării triple a apei (căreia i se atribuie prin convenție valoarea de 273,16 K).

Valoarea atribuită punctului triplu al apei a fost astfel aleasă, încât pe scara Celsius temperatura de topire a gheții și cea de fierbere a apei să-și păstreze valorile 0 și 100 grade.



Punctul triplu al apei  
**Figura I.11**

## I.11. Extindere: Combustibili

Pentru motoarele termice sau, de exemplu, pentru încălzirea locuințelor, este nevoie de căldură.



### Reține!

**Combustibilii** sunt substanțe care degajă căldură prin ardere.

În general, combustibilii sunt folosiți în scopul producerii energiei termice. Combustibilii pot fi folosiți în diverse domenii, în scopul producerii de materii prime pentru industria petrochimică, cea cocschimică etc., sau pentru obținerea de diferiți combustibili artificiali.

Combustibilii pot fi clasificați:

a) **după starea de agregare:** *combustibili solizi* (cărbone, lemn etc.); *combustibili lichizi* (petrol, benzină, motorină etc.); *combustibili chimici gazoși* (hidrogen, gaze naturale etc.);

b) **după modul de obținere (proveniență):** *combustibili naturali* (fosili sau minerali), care se găsesc în scoarța terestră, de unde se extrag – ei se pot folosi ca atare (gaze naturale) sau după o prelucrare sumară (țiței, cărbuni, lemn etc.); *combustibili artificiali*, care se obțin prin prelucrarea combustibililor naturali prin procese pur fizice sau prin procese fizice asociate cu transformări chimice.

Nu toți combustibilii sunt la fel de eficienți. De aceea, pentru a caracteriza eficiența unui combustibil, se definește **puterea calorică**.



### Reține!

Puterea calorică a unui combustibil,  $q$ , este mărimea fizică numeric egală cu căldura degajată de unitatea de masă din acel combustibil prin ardere:  $q = \frac{Q}{m}$

În Sistemul Internațional de Unități, **unitatea de măsură pentru puterea calorică** este:

$$[q]_{SI} = \frac{[Q]_{SI}}{[m]_{SI}} = \frac{J}{kg}$$

Combustibilii fosili sunt poluanți și epuizabili. De aceea, folosirea lor trebuie să fie făcută cu prudență. Mai nou, drept combustibil este folosit hidrogenul. Acesta este un propulsor de rachetă foarte ușor și extrem de eficient. În combinație cu un oxidant, cum ar fi de exemplu oxigenul lichid, hidrogenul lichid are cea mai bună eficiență în raport cu oricare alt propulsor de rachetă cunoscut.

☑ **Problemă rezolvată**

O masă  $m = 10$  kg de plumb solid, având temperatura inițială de  $t_0 = 27^\circ\text{C}$ , trebuie topit cu ajutorul unei lămpi cu petrol al cărei randament este  $\eta = 30\%$ . Care este cantitatea de petrol consumată în acest scop? Se cunosc:  $q = 45980$  kJ/kg,  $\lambda_{pb} = 20,9$  kJ/kg,  $t_{topire} = 327^\circ\text{C}$ ,  $c_{pb} = 124,1$  J/kgK.

**Rezolvare**

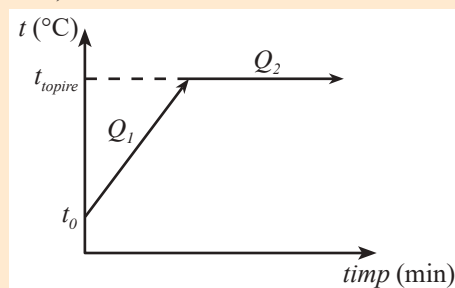
Se transformă în unități de măsură din Sistemul Internațional toate unitățile de măsură care nu sunt exprimate astfel (mai puțin temperaturile, deoarece  $\Delta t = \Delta T$ ):

$$q = 45\,980 \text{ kJ/kg} = 45\,980\,000 \text{ J/kg}$$

$$\lambda_{pb} = 20,9 \text{ kJ/kg} = 20\,900 \text{ J/kg}$$

Se realizează o diagramă pe care se marchează temperaturile implicate în procesele fizice suferite de plumb.

Se observă că temperatura plumbului este mai mică decât temperatura de topire, deci plumbul va absorbi căldură ca să ajungă la această temperatură:



$$Q_1 = m \cdot c_{pb} (t_{topire} - t_0)$$

În continuare, plumbul va absorbi căldură la temperatură constantă pentru a-și schimba starea de agregare (pentru a se topi):

$$Q_2 = m \cdot \lambda_{pb}$$

Deci, căldura necesară plumbului pentru a se topi va fi:

$$Q_p = Q_1 + Q_2 = m \cdot c_{pb} (t_{topire} - t_0) + m \cdot \lambda_{pb}$$

Căldura cedată de petrol poate fi exprimată astfel:

$$|Q_3| = m_{petrol} \cdot q$$

Introducând aceste călduri în expresia randamentului, vom obține:

$$\left. \begin{array}{l} \eta = \frac{Q_p}{|Q_3|} \\ Q_p = m \cdot c_{pb} (t_{topire} - t_0) + m \cdot \lambda_{pb} \\ |Q_3| = m_{petrol} \cdot q \end{array} \right\} \Rightarrow \eta = \frac{m [c_{pb} (t_{topire} - t_0) + \lambda_{pb}]}{m_{petrol} \cdot q} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \eta \cdot m_{petrol} \cdot q = m [c_{pb} (t_{topire} - t_0) + \lambda_{pb}]$$

Deci, masa de petrol necesară pentru topirea plumbului va fi:

$$m_{petrol} = \frac{m [c_{pb} (t_{topire} - t_0) + \lambda_{pb}]}{\eta \cdot q} = \frac{10 [124,1(327 - 27) + 20900]}{0,3 \cdot 45980000} = 0,042 \text{ kg}$$



## Curiozități

- Solidificarea (cristalizarea) începe în jurul unui germene, care poate fi o impuritate. De aceea apa cu o puritate extremă poate rămâne în stare lichidă la temperaturi mai mici de  $0^{\circ}\text{C}$ . Chimistele Valeria Molinero și Emily Moore de la Universitatea din Utah au reușit să păstreze apa lichidă până la  $-48^{\circ}\text{C}$ .

- Aristotel a fost primul care a observat că apa caldă îngheață mai repede decât apa rece. Două milenii mai târziu, în 1963, un student tanzanian a observat același fenomen (efectul Mpemba). Au existat mai multe teorii care au încercat să explice efectul Mpemba, dar niciuna nu oferă o explicație satisfăcătoare.

- Râurile îngheață de la suprafață spre adâncuri, protejând astfel viața.

- Căldura latentă mare de evaporare a apei împiedică deshidratarea și răcirea prea rapidă a organismelor; capacitatea calorică mare a apei transformă oceanele în rezervoare de căldură pentru organismele care trăiesc în adâncul lor și în regulatoare pentru clima planetei.

- Temperatura la suprafața lui Titan este de aproximativ  $-179^{\circ}\text{C}$ . La această temperatură, apa înghețată nu sublimază (temperatura este mai mică decât temperatura punctului triplu al apei), astfel încât atmosfera satelitului este aproape lipsită de vapori de apă. În schimb, din cauza acestei temperaturi scăzute, metanul, care pe Pământ este în stare gazoasă, pe Titan este în stare lichidă; pe Titan curg râuri de metan!



## Activități de învățare și de autoevaluare

1. Zăpada se topește ușor când plouă. Explică acest fenomen.

2. Explică de ce când ieșim din apă ne este frig (chiar dacă afară e foarte cald).

3. Uneori, pe timpul iernii, rufe puse afară la uscat îngheață. Cu toate acestea, ele se usucă. Explică de ce.

4. Calculează căldura necesară unei mase de fier,  $m = 10\text{ kg}$ , pentru a se topi. Inițial fierul se afla la temperatura de topire. Căldura specifică latentă de topire a fierului este  $\lambda = 270\text{ kJ/kg}$ .

5. Calota polară din Arctica este o întindere de gheață care plutește deasupra Oceanului Arctic și a mărilor vecine. Toamna și iarna calota se îngroașă și își extinde suprafața, în timp ce primăvara și vara ea se subțiază și devine mai restrânsă ca suprafața. Din păcate, în ultimele decenii s-au observat scăderi dramatice (în comparație cu anii precedenți) ale suprafeței de gheață arctice, în toate anotimpurile.

6. În imaginile alăturate se observă cum s-a modificat suprafața calotei glaciare în (aproximativ) 25 de ani.

Privește cu mare atenție figura I.12 și figura I.13 și răspunde la următoarele întrebări.

- a) Între ce ani au fost colectate datele referitoare la calota polară?

- b) În ce an calota polară a avut cea mai mică arie?



Figura I.12 – Calota polară arctică



c) Care sunt valorile extreme ale ariei calotei polare?

d) De câte ori este mai mică aria calotei polare în anul 2012 față de anul 1979?

e) Care este rata medie de scădere anuală a ariei calotei polare arctice?

Pentru a înțelege proporțiile acestui fenomen, compară această valoare cu suprafața României (aproape 238 000 km<sup>2</sup>).

f) Estimează în câți ani calota polară arctică ar putea să se topească complet pe timp de vară, presupunând că rata medie de scădere anuală a suprafeței calotei rămâne aceeași.

g) Presupunând că grosimea medie a calotei polare arctice este de 2 metri, calculează căldura absorbită de gheața care s-a topit, în timpul verii, în anul 2008.

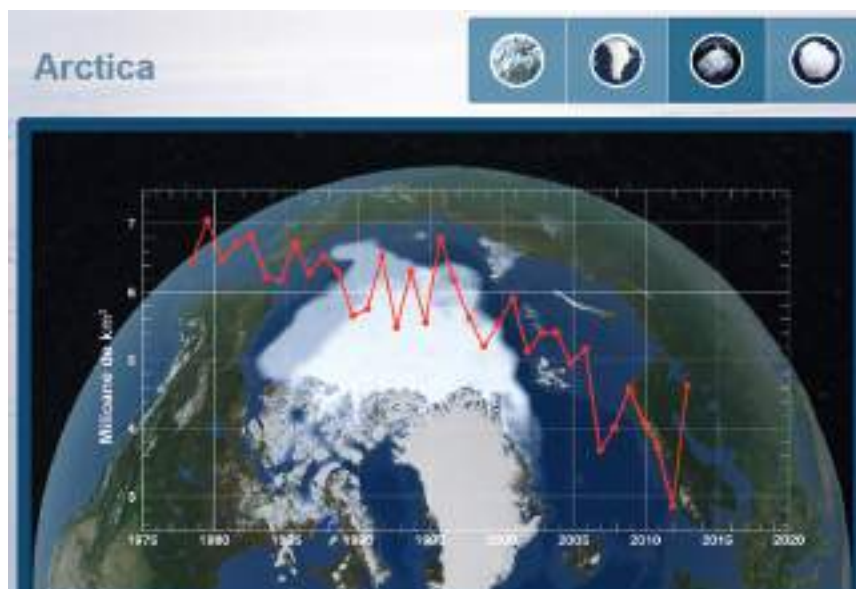


Figura I.13 – Suprafața minimă a calotei polare arctice



### Activități de evaluare

1. Să se calculeze căldura necesară modificării temperaturii unei bucăți de argint cu masa  $m = 18$  g de la  $t_1 = -15^\circ\text{C}$  la  $t_2 = 20^\circ\text{C}$ . (Argintul nu își schimbă starea de agregare în timpul procesului,  $c_{\text{Ag}} = 250$  J/kgK.)

2. Ce masă are un corp de fier, dacă s-a consumat căldura  $Q = 9\,660$  J pentru a-l aduce de la temperatura  $T_1 = 295,15$  K la temperatura  $T_2 = 305,15$  K? ( $c_{\text{Fe}} = 460$  J/kgK)

3. O statueta cu masa  $m = 140$  g este confecționată dintr-un aliaj care conține  $f_1 = 60\%$  cupru și  $f_2 = 40\%$  aluminiu. Ce căldură cedează statueta dacă ea își modifică temperatura cu  $\Delta T = 20$  K? ( $c_{\text{Cu}} = 380$  J/kgK;  $c_{\text{Al}} = 910$  J/kgK)

4. Să se calculeze căldura cedată de o masă  $m = 10$  kg de vapori de apă aflați la temperatura de fierbere pentru a se transforma în lichid. ( $\lambda_{\text{vaporizare}} = 2\,300$  kJ/kg)

5. Un corp cu capacitatea calorică  $C = 100$  J/K și  $t_0 = 80^\circ\text{C}$  este adus în contact termic cu un corp de capacitate calorică necunoscută. Utilizând diagrama din figura I.14, calculează capacitatea calorică a celui de al doilea corp.

6. Motorul unui automobil are randamentul de 60% și consumă 20 l de benzină în timpul  $t = 9\,660$  s. Calculează:

- distanța parcursă de automobil în acest timp, dacă viteza lui este constantă, iar forța de rezistență are modulul de 2 000 N;
- viteza automobilului.

Se dau densitatea benzinei  $\rho = 0,73$  kg/l și puterea ei calorică  $q = 6$  MJ/kg.

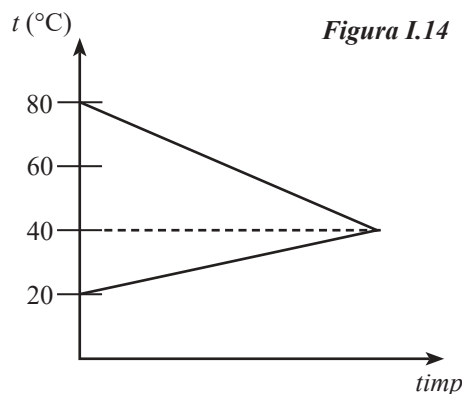


Figura I.14





## Rezumat

**Agitația termică** este mișcarea haotică, permanentă, în care se găsesc atomii și moleculele substanțelor, indiferent de starea de agregare. Mișcarea este cu atât mai intensă, cu cât temperatura este mai mare.

Difuzia și mișcarea browniană sunt consecințe ale agitației termice.

**Temperatura empirică** este o mărime fizică scalară, necesară și suficientă pentru a caracteriza echilibrul termic. Corpurile aflate în echilibru termic au aceeași temperatură.

**Unitatea de măsură** pentru temperatură în Sistemul Internațional de Unități se numește **kelvin**:

$$[T]_{SI} = K$$

Variația de temperatură exprimată în grade Celsius este egală cu variația de temperatură exprimată în kelvini:

$$\Delta t = \Delta T$$

Dispozitivul cu ajutorul căruia se măsoară temperatura se numește **termometru**.

**Căldura** este o mărime fizică scalară ce caracterizează un proces (spre deosebire de temperatură, care caracterizează o stare a sistemului) și reprezintă forma sub care energia se transmite între corpuri cu temperaturi diferite, aflate în contact termic.

Căldura se măsoară în Sistemul Internațional de Unități, în **joule**:

$$[Q]_{SI} = J$$

Transmiterea căldurii de la corpul mai cald la corpul mai rece se poate face:

- **prin conducție;**
- **prin convecție;**
- **prin radiație.**

Un motor termic este un dispozitiv **care transformă parțial căldura în lucru mecanic**. Randamentul unui motor termic este o mărime fizică adimensională și este întotdeauna subunitar:

$$\eta < 1$$

**Capacitatea calorică C a unui corp** este mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară unui corp pentru a-și varia temperatura cu un 1 kelvin:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

În Sistemul Internațional de Unități, unitatea de măsură pentru capacitatea calorică este:

$$[C]_{SI} = \frac{J}{K}$$

Numim **căldură specifică c a unei substanțe** mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară unității de masă din substanța respectivă, pentru a-și varia temperatura cu un kelvin:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

În Sistemul Internațional de Unități, unitatea de măsură pentru căldura specifică este:

$$[c]_{SI} = \frac{J}{kg \cdot K}$$

Numim **căldură molară  $C_v$  a unei substanțe** mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară unui mol din substanța respectivă pentru a-și varia temperatura cu un kelvin:

$$C_v = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T}$$

În Sistemul Internațional de Unități, unitatea de măsură pentru căldura molară este:

$$[C_v]_{SI} = \frac{J}{mol \cdot K}$$

Într-un sistem izolat, format din corpuri cu temperaturi diferite aflate în contact termic, după un timp mai scurt sau mai lung se realizează echilibrul termic. Unele corpuri cedează căldură, iar altele primesc căldură:

$$Q_{primit} + Q_{cedat} = 0$$

Clasic, **există trei stări de agregare: solidă, lichidă și gazoasă**. Pentru o substanță dată, fiecare stare de agregare este caracterizată de proprietăți chimice și fizice distincte.

Schimbarea stării de agregare se face cu absorbție sau cu cedare de căldură, dar **temperatura substanței nu se modifică în timpul procesului**.

Numim **căldură latentă specifică de solidificare**,  $\lambda$ , căldura latentă necesară unității de masă dintr-o substanță pentru a se solidifica:

$$\lambda = \frac{Q}{m}$$

În Sistemul Internațional de Unități, unitatea de măsură pentru căldura latentă specifică este:

$$[\lambda]_{SI} = \frac{J}{kg}$$

Pentru **o aceeași substanță**, între căldurile latente specifice există relațiile:

$$\begin{aligned}\lambda_{desublimare} &= \lambda_{sublimare} \\ \lambda_{vaporizare} &= \lambda_{condensare} \\ \lambda_{solidificare} &= \lambda_{topire}\end{aligned}$$

**Combustibili** sunt substanțe care prin ardere degajă căldură.

**Puterea calorică** a unui combustibil,  $q$ , este mărimea fizică numeric egală cu căldura degajată de unitatea de masă din acel combustibil prin ardere:

$$q = \frac{Q}{m}$$

În Sistemul Internațional de Unități, **unitatea de măsură pentru puterea calorică** este:

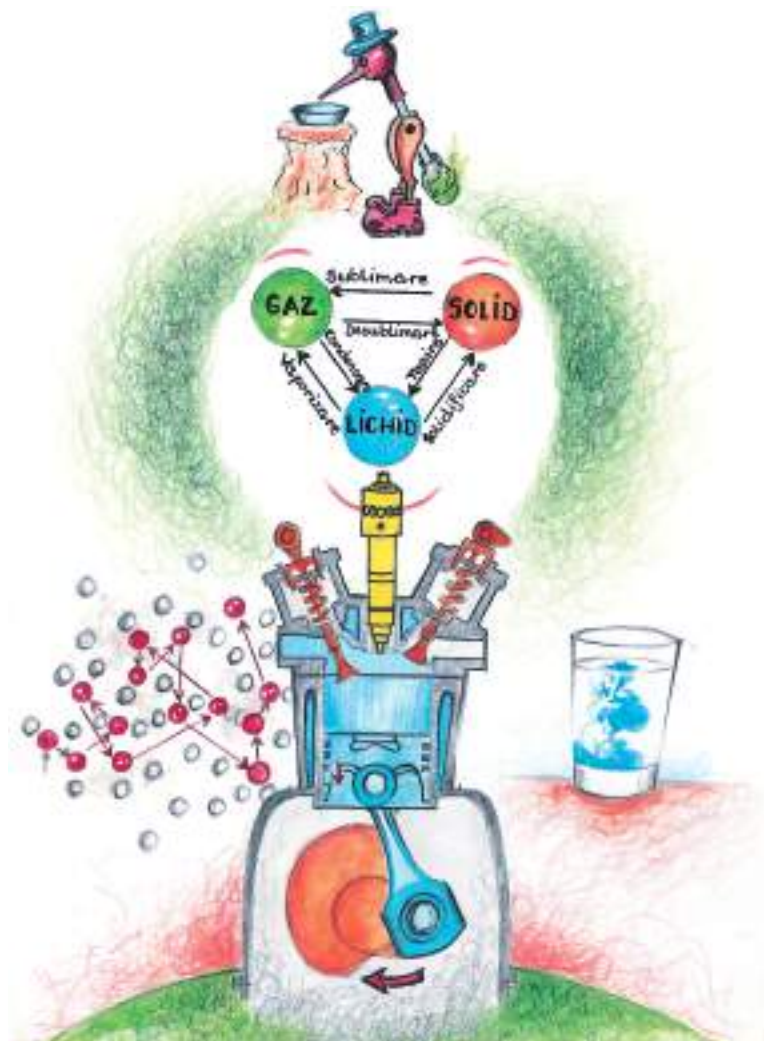
$$[q]_{SI} = \frac{J}{kg}$$



## Activitate interdisciplinară

Studiază, cu atenție, imaginea de mai jos. Răspunde la următoarele cerințe:

1. Identifică în imagine un fenomen fizic. Notează-l în caiet.
2. Notează în caiet o mărime fizică cu care poți descrie fenomenul fizic respectiv.
3. Notează în caiet unitatea de măsură pentru mărimea fizică identificată.
4. Precizează care dintre transformările de fază precizate în desen se fac cu absorbție de căldură și care se fac cu cedare de căldură.
5. În desen apare jucăria „Pasărea care bea apă”. Deși este considerată o banală jucărie, „Pasărea care bea apă” este în realitate un motor termic. Sursa care furnizează căldură motorului este aerul atmosferic. Dacă vrei ca pasărea să „bea” apă, trebuie să umezești bine capul păsării. Sursa care preia căldura netransformată în energie cinetică de balans a păsării este apa ce se evaporă de pe capul acesteia. Cu ce substanță poți înlocui apa pentru a grăbi procesul, iar pasărea să „bea apă mai rapid”?
6. Realizează propriul tău desen care să sugereze cât mai multe fenomene fizice studiate în capitol și aplicații practice ale fenomenelor studiate (dacă îți place informatica, poți să realizezi desenul cu ajutorul calculatorului). Prezintă desenul în fața colegilor. Folosește, în explicații, un limbaj științific și dă cât mai multe detalii tehnice.





Test de evaluare:

Fiecare răspuns corect se notează cu 1 punct. Se adaugă 1 punct din oficiu.

1. Alege (și încercuiește) afirmația care nu este corectă:

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| a) În Sistemul Internațional de Unități, capacitatea calorică se măsoară în J/K. | b) Sublimarea se face cu cedare de căldură. | c) Căldura latentă necesară schimbării stării de agregare depinde de masa substanței care suferă schimbarea de stare de agregare. | d) Temperatura se măsoară cu termometrul. |
|--|---|---|---|

2. Marchează cu *adevărat* sau *fals* următoarele afirmații:

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| a) Difuzia este o consecință a agitației termice. | b) Puse în contact, două corpuri cu temperaturi diferite vor ajunge, după un timp oarecare, la aceeași temperatură. | c) Mișcarea de agitație termică devine mai intensă pe măsură ce temperatura scade. | d) Căldura este o mărime fizică ce caracterizează starea de echilibru termic a unui sistem. |
|---|---|--|---|

3. Justifică, la alegere, una dintre afirmațiile adevărat/fals de mai sus.

4. Identifică și descrie două aplicații din viața reală ale schimbării de stare de agregare.

5. Explică fenomenul fizic care face ca unei persoane să i se aburească ochelarii atunci când intră iarna într-o clădire, venind de afară, din ger.

6. Temperatura de echilibru a unui amestec format din trei cantități egale de apă, fiecare având temperatura inițială de  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 30^\circ\text{C}$  și  $t_3 = 40^\circ\text{C}$ , este:

|                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| a) $40^\circ\text{C}$ | b) $30^\circ\text{C}$ | c) $10^\circ\text{C}$ | d) $25^\circ\text{C}$ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|

7. Calculează căldura specifică a unui aliaj format din mase egale de aur și argint în funcție de căldura specifică a aurului și de cea a argintului,  $c_{Au}$  și  $c_{Ag}$ .

8. Calculează căldura specifică a unui aliaj format din volume egale de aur și argint în funcție de căldura specifică a aurului și de cea a argintului,  $c_{Au}$  și  $c_{Ag}$  și de densitățile celor două substanțe,  $\rho_{Au}$  și  $\rho_{Ag}$ .

9. Ce masă de apă la temperatura  $t_1 = 40^\circ\text{C}$  trebuie turnată peste un bloc de gheață de masă  $m_2 = 300\text{ g}$ , aflat la temperatura  $t_2 = -10^\circ\text{C}$ , pentru ca temperatura de echilibru să devină  $t_e = 0^\circ\text{C}$  și întreaga masă de gheață să se topească?  
Se cunosc  $c_a = 4185\text{ J/kgK}$ ,  $c_g = 2090\text{ J/kgK}$  și  $\lambda_g = 335\text{ kJ/kg}$ .

# II.

## FENOMENE ELECTRICE ȘI MAGNETICE

### II.1. Electrostatica

#### II.1.1. Electrizarea, sarcina electrică. Interacțiunea dintre corpurile electrizate

**Scurt istoric:** Încă din Antichitate, grecii au observat că chihlimbarul, o rășină fosilă de culoare galbenă, după ce era frecată cu o bucată de lână, putea să atragă corpuri ușoare. Fenomenul de electrizare prin frecare a chihlimbarului, numit **elêktron** în limba greacă, a fost observat și descris de Thales din Milet (624 – 547 î.Hr.), cu aproximativ 600 de ani înainte de Hristos.

**Învăță din imagini:** Privește imaginile de mai jos (figura II.1) și amintește-ți din clasa a VI-a fenomenul de electrizare studiat.



Figura II.1

Ai învățat că toate corpurile pe care le întâlnim în viața curentă sunt alcătuite din substanțe. La rândul lor, acestea sunt alcătuite din atomi. În figura II.2 b) poți identifica structura unui atom și a nucleului acestuia.



Figura II.2 a)

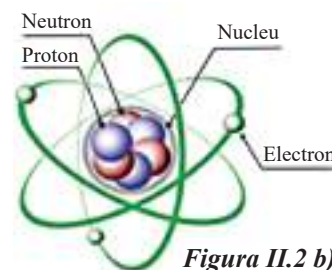


Figura II.2 b)



#### Reține!

Un atom este alcătuit dintr-o parte centrală, numită **nucleu**, în jurul căruia se deplasează electronii, formând **norul electronic**. La rândul lui, nucleul este format din protoni și neutroni. Electronii și protonii au pe lângă masă și o proprietate numită **sarcină electrică**. Electronul are sarcina electrică **negativă** ( $-$ ), iar protonul sarcina electrică **pozitivă** ( $+$ ). Electronul are cea mai mică sarcină electrică negativă. Protonul are sarcina pozitivă, egală în modul cu cea a electronului. Atomul este neutru din punct de vedere electric deoarece numărul electronilor este egal cu cel al protonilor.



#### Definiție

**Sarcina electrică** este o mărime fizică scalară care caracterizează starea de electrizare a unui corp. Sarcina electrică se notează cu litera  $q$  (sau  $Q$ ).

Unitatea de măsură în Sistemul Internațional pentru sarcina electrică este **coulombul** (C):  $[q]_{SI} = C$ .



### Reține!

Sarcina protonului reprezintă cea mai mică valoare a sarcinii electrice pusă în evidență experimental și se numește **sarcină elementară**, se notează cu litera  $e$  și are valoarea:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

Sarcina electrică  $Q$  a nucleului unui atom este pozitivă, fiind determinată de suma sarcinilor electrice a protonilor:  $Q = Ze$ , unde  $Z$  este numărul atomic egal cu numărul protonilor din nucleu, iar  $e$  este sarcina elementară.

*Exemplu:* Sarcina unui nucleu de fier ( $Z = 26$ ) este:  $Q_N = 26 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 41,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Electronul din învelișul electronic are sarcina electrică negativă egală cu  $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -e$ .

Sarcina electrică a electronilor din învelișul electronic se poate calcula prin relația:  $Q_e = Z \cdot (-e)$ .

*Exemplu:* Sarcina electronilor din atomul de fier este:  $Q_e = 26 \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19}) \text{ C} = -41,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Sarcina electrică a unui atom reprezintă suma dintre sarcina electrică a nucleului și sarcinile electrice ale electronilor:  $Q = Ze + Z(-e) = 0$ .



### Reține!

Orice sarcină electrică existentă liber în natură este un multiplu întreg de sarcini elementare și se scrie sub forma:

$$q = Ne, \text{ unde } N \text{ este un număr întreg.}$$

Deoarece corpurile electrizate au sarcini mult mai mici decât un coulomb, se folosesc submultipli acestuia:

$$\text{microcoulombul: } 1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$$

$$\text{nanocoulombul: } 1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$$



### Observație

Sarcina electrică nu poate lua orice valoare, ci doar anumite valori. Din acest motiv, se spune că sarcina este **cuantificată** (are un caracter discret sau discontinuu).

#### ☑ Problemă rezolvată

Câte sarcini electrice elementare sunt cuprinse într-o sarcină de 1 C?

| Rezolvare  | Indicații de rezolvare   |
|--|--|
| $q = Ne \Rightarrow N = \frac{q}{e}$ $N = \frac{1 \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 6,25 \cdot 10^{18}$ | <p>Scrie relația care exprimă legătura dintre sarcina electrică și sarcina elementară.</p> |

Corpurile se încarcă cu sarcini electrice prin mai multe procedee: *frecare, contact și influență*.



### Activitate experimentală

• Apropie o riglă din plastic de corpuri ușoare, bucățele de hârtie, polistiren sau un jet subțire de apă. Ce observi? Freacă acum rigla cu o bucată de stofă sau blană și reia experimentul. Ce constatăi?

Această proprietate a riglei de a atrage corpurile ușoare este căpătată prin frecare, rigla devenind încărcată cu sarcini electrice. În figura II.3 poți observa cu ce fel de sarcini se încarcă fiecare corp în urma electrizării prin frecare.



Figura II.3



### Reține!

Prin frecarea dintre două corpuri inițial neutre, acestea se încarcă cu sarcini electrice în cantități egale și de semne opuse.

Aceasta se explică prin faptul că sarcina electrică negativă a electronilor care au trecut de pe blană pe baghetă, încărcând bagheta negativ, are aceeași mărime cu sarcina electrică a blănii care a cedat electronii, aceasta devenind încărcată pozitiv. Prin urmare, sarcina electrică a sistemului de corpuri se conservă. Această afirmație reprezintă **legea conservării sarcinii electrice**.



### Enunț

**Legea conservării sarcinii electrice:** Într-un sistem fizic izolat, sarcina electrică totală este constantă în timp (se conservă).

În viața curentă, fenomenul de electrizare prin frecare poate fi identificat atunci când vă pieptănați părul proaspăt spălat și uscat cu un pieptene din plastic, când dezbrăcați un pulover din lână sau când, pe ecranul televizorului sau al calculatorului, se depun particule de praf etc.



### Activitate experimentală

• Ai la dispoziție două baloane umflate, atârnate prin fire izolatoare de un suport, și o bucată din stofă de lână. Freacă fiecare balon cu stofa din lână și apropie apoi baloanele. Ce observi?

În figura II.4 este explicat procesul prin care balonul și stofa se încarcă cu sarcini electrice. Lăsat liber, balonul încărcat cu sarcini negative este atras de stofa încărcată cu sarcini pozitive. Cele două baloane frecate cu stofă, încărcate cu sarcini de același semn, se resping.

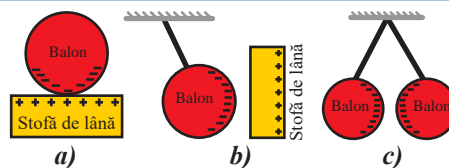


Figura II.4



### Reține!

**Sarcinile electrice de semne contrare se atrag, iar cele de același semn se resping.**

Un corp la care numărul sarcinilor elementare pozitive este același cu numărul sarcinilor elementare negative este **neutru** din punct de vedere electric.





### Definiție

Un corp la care numărul sarcinilor elementare pozitive este mai mare decât numărul sarcinilor elementare negative se numește **corp electrizat pozitiv**. Un corp la care numărul sarcinilor elementare negative este mai mare decât numărul sarcinilor elementare pozitive se numește **corp electrizat negativ**.

În figura II.4, poți observa că stofa este electrizată pozitiv, iar balonul este electrizat negativ.



### Definiție

Fenomenul prin care un corp se încarcă electric se numește **electrizare**.



### Observație

Electrizarea se produce prin separarea sarcinilor electrice și nu prin crearea de noi sarcini.

**Scurt istoric:** În secolul al XVIII-lea, chimistul francez Charles du Fay a observat că sticla și rășina se electricează cu sarcini diferite, denumite inițial *electricitate „sticloasă”* și *electricitate „rășinoasă”*. Ulterior, Benjamin Franklin (1706 – 1790) a introdus în fizică termenul de *sarcină electrică*.

**Exemplu:** Prin frecarea cu o bucată de stofă, sticla, metalele și plexiglasul se încarcă pozitiv, iar celuloidul, PVC și ebonita se încarcă negativ.



### Activitate experimentală

• Ai la dispoziție un pendul electrostatic, de tipul celui din figura II.5. Apropie de bila pendulului o riglă electrizată prin frecare. Urmărește imaginile de mai jos pentru a înțelege electrizarea pendulului.

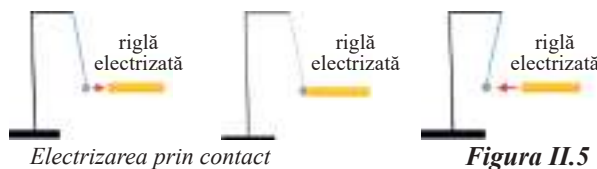


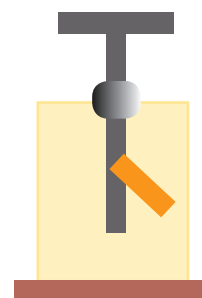
Figura II.5



### Reține!

La contactul dintre un corp electrizat și un corp neutru, corpul neutru se încarcă cu sarcină de același semn cu sarcina corpului electrizat. Acest tip de electrizare se numește **electrizare prin contact**.

Cu ajutorul pendulului electrostatic, se poate pune în evidență starea de electrizare a unui corp. Un alt dispozitiv studiat în clasa a VI-a, folosit pentru a pune în evidență fenomenul de electrizare, este electroscopul. În figura II.6 este prezentat un electroscop. Cere-i ajutorul profesorului pentru a-ți reaminti alcătuirea acestuia.



Electroscop

Figura II.6

### ☑ Problemă rezolvată

Două sfere metalice identice, având sarcinile  $q_1 = 6 \mu\text{C}$  și  $q_2 = -2 \mu\text{C}$ , sunt puse în contact și apoi îndepărtate. Ce sarcină va avea în final fiecare sferă?

| Rezolvare   | Indicații de rezolvare   |
|---|--|
| $q'_1 = q'_2 = q$ $q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 = 2q \Rightarrow q = \frac{(q_1 + q_2)}{2}$ $q = \frac{6 \mu\text{C} + (-2 \mu\text{C})}{2} = 2 \mu\text{C}$ | <p>Deoarece sferele sunt identice, după contact vor avea sarcini electrice egale.</p> <p>Aplicăm legea conservării sarcinii electrice.</p> |

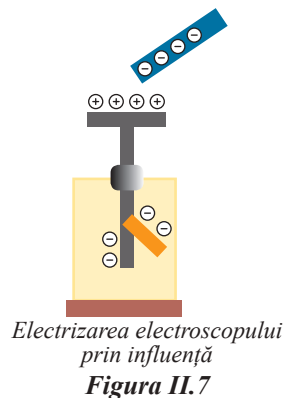
## Electrizarea prin influență sau inducție

Ai învățat în clasa a VI-a despre corpurile conductoare și izolatoare.



### Reține!

Corpurile conductoare sunt corpuri care se electrizează în întregime când vin în contact cu corpuri electrizate (de exemplu metalele, ca aluminiul, cuprul, fierul, sau apa sărată etc.), iar cele izolatoare se electrizează doar în zona de contact (de exemplu lemnul, ceramica, sticla, materialele plastice etc.).



Electrizarea electroscopului prin influență  
**Figura II.7**



### Activitate experimentală

- Apropie, fără să atingi, de discul unui electroscop neutru din punct de vedere electric, o riglă din plastic electrizată. Ce observi? Urmărește imaginea din figura II.7 și formulează o concluzie cu privire la electrizarea electroscopului.



### Reține!

La apropierea unui corp electrizat de un corp metalic neutru, izolat față de Pământ, acesta se electrizează pozitiv la un capăt și negativ la celălalt capăt, fără a-și modifica sarcina electrică totală. Acest procedeu de electrizare la distanță se numește **electrizare prin influență sau inducție**.

## Interacțiunea dintre corpurile electrizate



### Definiție

Interacțiunea ce se manifestă între corpurile electrizate și se datorează sarcinilor electrice cu care sunt încărcate corpurile se numește **interacțiune electrică**.

Ai observat în experimentele de mai sus că două corpuri încărcate cu sarcini de același semn se resping, prin urmare între corpuri se manifestă interacțiune prin forțe de respingere (figura II.8 a). Două corpuri încărcate cu sarcini de semne contrare se atrag, prin urmare între corpuri se manifestă interacțiune prin forțe de atracție (figura II.8 b).



**Figura II.8 a)**



**Figura II.8 b)**



### Activități de învățare și de autoevaluare

1. O baghetă de ebonită este electrizată prin frecare cu o bucată de stofă. Cu ce fel de sarcină se încarcă bagheta? Dar bucata de stofă? Se atinge bagheta de bila unui pendul electrostatic. Cu ce sarcină se electrizează bila?
2. Sarcina unui corp electrizat este  $q = -2 \text{ C}$ . Câți electroni are în exces acest corp?
3. Trei sfere metalice identice, având sarcinile  $q_1 = -6 \mu\text{C}$ ,  $q_2 = 2 \mu\text{C}$  și  $q_3 = 4 \mu\text{C}$  sunt puse în contact și apoi îndepărtate. Ce sarcină va avea în final fiecare sferă?

4. Fie trei corpuri metalice identice, A, B și C. Primele două corpuri sunt încărcate cu sarcinile  $q_A = 3,2 \mu\text{C}$ ,  $q_B = -0,8 \mu\text{C}$ , iar al treilea este neutru. Se pun în contact corpurile A și B, apoi se depărtează unul de celălalt și se pun în contact corpurile B și C. Se cere să se afle: a) sarcina electrică a corpului A după punerea lui în contact cu corpul B și îndepărtarea de acesta; b) sarcina electrică a corpului C după punerea lui în contact cu corpul B și îndepărtarea de acesta (după contactul A-B); c) sarcinile electrice ale corpurilor, dacă sunt puse simultan în contact și îndepărtate; d) numărul de electroni care a părăsit corpul C, în situația de la punctul c).

5. **Teme de reflecție:** Documentează-te și realizează un eseu în care să prezinți: • fenomenele electrice din atmosferă (fulger, trăsnet); • electrizarea autovehiculelor, avioanelor și măsuri de protecție; • electrizarea corpurilor izolatoare.

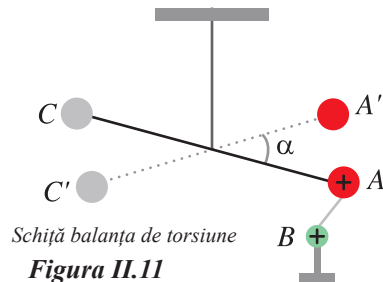
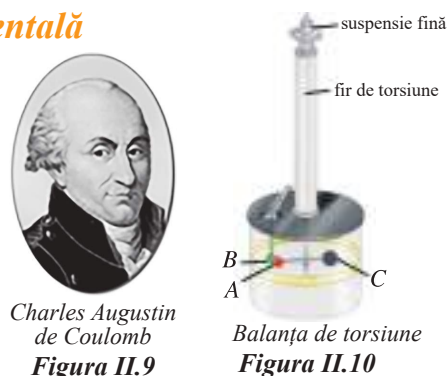
6. **Teme experimentale:** Documentează-te și construiește un electroscope.

### II.1.2. Legea lui Coulomb (identificarea experimentală a mărimilor care influențează forța electrică)

În lecția anterioară ai observat faptul că între corpurile electrizate se manifestă interacțiuni caracterizate de forțe de atracție și de respingere. În continuare, vom stabili factorii care determină intensitatea acestor interacțiuni.

Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806), inginer militar francez, a studiat procesele de interacțiune dintre sarcinile electrice folosind o balanță foarte sensibilă, numită **balanță de torsiune**.

Balanța de torsiune, figurile II.10 și II.11, este alcătuită din două sfere, A și C, prinse la capetele unei bare orizontale izolatoare, suspendată printr-un fir vertical. În apropierea acestora se află o altă sferă, B. Când de sfera A, electrizată pozitiv, se apropie sfera B, electrizată tot pozitiv, forța de respingere determină rotirea brațului AC al balanței cu un unghi  $\alpha$ . Cu cât acest unghi este mai mare, firul este mai puternic răsucit (torsionat) și deci forța de respingere este mai mare. Modificând distanța dintre sferele electrizate A și B, Coulomb a dedus că forța de interacțiune este invers proporțională cu pătratul distanței dintre centrele sferelor electrizate. Modificând mărimea sarcinilor electrice de pe cele două sfere, Coulomb a constatat că forța de interacțiune este direct proporțională cu mărimea sarcinilor electrice. Coulomb a reunit constatările experimentale sub forma unei relații matematice, numită **legea lui Coulomb**.



#### Enunț

**Legea lui Coulomb:** Forța de interacțiune dintre două corpuri punctiforme încărcate cu sarcini electrice este direct proporțională cu mărimea sarcinilor lor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele și este orientată pe direcția determinată de cele două corpuri.

$$F = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad (\text{II.1}), \text{ unde } k = \text{constantă de proporționalitate, caracterizează mediul.}$$



#### Observație

1. Legea lui Coulomb este valabilă numai în cazul corpurilor punctiforme (dimensiunile lor sunt mult mai mici decât distanța dintre ele) și dacă acestea sunt fixe.



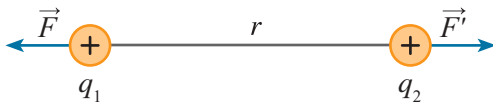
## Observație

2. Dacă ambele corpuri se află în vid, constanta  $k$  are valoarea:  $k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$ .

Pentru aer, se poate considera aceeași valoare ca și pentru vid. În tabelul alăturat prezentăm câteva valori ale raportului dintre  $k_0$  și  $k_{\text{substanță}}$  pentru diferite substanțe:

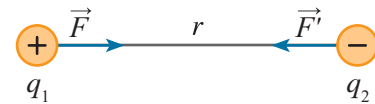
3. Forța  $\vec{F}$  este forța care acționează asupra sarcinii  $q_2$  (figura II.12), iar  $\vec{F}'$  este forța care acționează asupra sarcinii  $q_1$ . În mod evident, conform principiului acțiunii și al reacțiunii:

$$\vec{F} = -\vec{F}' \quad (\text{II.2})$$



Forța lui Coulomb

Figura II.12



4. Forța de interacțiune dintre sarcinile electrice aflate în repaus se mai numește forța coulombiană sau forța de interacțiune electrostatică.

### Probleme rezolvate

1. Cu ce forță interacționează două corpuri de mici dimensiuni, încărcate cu sarcinile electrice egale cu 10 nC fiecare, situate în aer, la distanța de 3 cm unul față de celălalt?

| Rezolvare  | Indicații de rezolvare   |
|--|--|
| $F = k \frac{ q_1 \cdot q_2 }{r^2}$ $F = 9 \cdot 10^9 \frac{(10 \cdot 10^{-9})^2}{0,03^2} \text{ N} = 0,001 \text{ N}$ | <p>Aplicăm legea lui Coulomb.</p> <p>Efectuăm transformările în unități de măsură SI.</p> <p>Facem înlocuirile în relația II.1</p> |

2. Trei corpuri punctiforme fixe,  $A$ ,  $B$  și  $C$ , aflate în aer, sunt așezate coliniar, ca în figura II.12. Corpurile sunt încărcate cu sarcinile pozitive de  $1,3 \mu\text{C}$ ,  $2,7 \mu\text{C}$  și  $0,9 \mu\text{C}$ . Distanța dintre corpurile  $A$  și  $B$  este de 15 cm, iar între  $B$  și  $C$ , de 8 cm. Aflați: a) forța care acționează asupra lui  $B$  din partea lui  $A$ ; b) forța care acționează asupra lui  $B$  din partea lui  $C$ ; c) forța rezultantă care acționează asupra lui  $B$  și orientarea acesteia.

| Rezolvare   | Indicații de rezolvare   |
|---|--|
| $F = k \frac{ q_1 \cdot q_2 }{r^2}$ $F_{B \rightarrow A} = 9 \cdot 10^9 \frac{(1,3 \cdot 10^{-6}) \cdot (2,7 \cdot 10^{-6})}{(0,15)^2} \text{ N} = 1,404 \text{ N}$ $F_{C \rightarrow B} = 9 \cdot 10^9 \frac{(0,9 \cdot 10^{-6}) \cdot (2,7 \cdot 10^{-6})}{(0,08)^2} \text{ N} \cong 3,417 \text{ N}$ $R_B =  F_{B \rightarrow A} - F_{C \rightarrow B} $ $R_B =  1,404 \text{ N} - 3,417 \text{ N}  = 2,013 \text{ N}$ <p>rezultanta este orientată spre corpul A.</p> | <p>Realizăm un desen în care reprezentăm corpurile și forțele de interacțiune dintre ele. Aplicăm legea lui Coulomb.</p> <p>Efectuăm transformările în unități de măsură SI.</p> <p>Facem înlocuirile în relația II.1.</p> |



### Activități de învățare și de autoevaluare

1. Aflați distanța la care se găsesc în aer două corpuri punctiforme, încărcate cu sarcinile electrice  $q_1 = 1 \mu\text{C}$ , respectiv  $q_2 = 10 \text{ nC}$ , dacă ele interacționează cu o forță de  $9 \text{ mN}$ .
2. Două particule încărcate electric se găsesc în apă, la distanța de  $3,3 \text{ cm}$ . La ce distanță trebuie așezate cele două particule în aer, pentru ca forța de interacțiune să nu-și modifice modulul?
3. Forța de interacțiune dintre două sarcini punctiforme aflate în vid este  $F$ . Cele două sarcini sunt introduse în grafit, iar distanța dintre ele este dublată. Aflați noua valoare a forței de interacțiune în funcție de  $F$ . Raportul  $k_o/k_{\text{grafit}}$  este 12.

## II.2. Electrocinetica

### II.2.1. Circuite electrice. Componentele unui circuit. Generatoare electrice

**Scurt istoric:** Primele experimente în domeniul curentului electric au fost realizate de fizicianul italian Luigi Galvani (1737 – 1798). El a studiat efectul fiziologic al curentului electric, observând contracțiile musculare produse în piciorul unei broaște la trecerea unui curent electric. Compatriotul său, Alessandro Volta (1745 – 1827) a realizat prima pilă electrică.

În fenomenele studiate în lecțiile anterioare, sarcina electrică era în repaus. În cele ce urmează, vom studia fenomenele care se produc atunci când sarcinile electrice sunt în mișcare.

**Învăță din imagini!** Ce au în comun următoarele imagini?



Figura II.13

În clasa a VI-a ai studiat circuitele electrice și ai învățat despre curentul electric. Imaginile de mai sus au în comun curentul electric, producerea și utilizarea acestuia în diferite circuite, de la becurile instalațiilor de pom la descărcarea electrică a fulgerului și apariția unui curent electric foarte intens, la încărcarea unei mașini electrice sau a telefonului de la laptop etc.

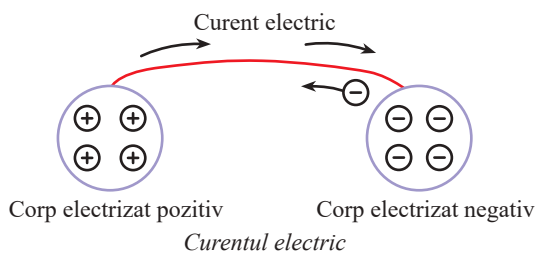


Figura II.14

Dacă între două corpuri încărcate cu sarcini electrice de semne contrare se conectează un fir conductor, prin volumul firului se deplasează sarcini electrice care formează un curent electric (figura II.14).



### Definiție

**Curentul electric** reprezintă mișcarea dirijată a sarcinilor electrice.

**Circuitul electric** reprezintă drumul parcurs de sarcinile electrice care formează un curent electric.

Formulează o concluzie în ceea ce privește sensul de deplasare a sarcinilor electrice negative în firul conductor din figura II.14. Discută cu profesorul și colegii!

În funcție de starea de agregare a substanței prin care trece curentul electric, purtătorii de sarcini electrice a căror mișcare formează curentul electric sunt: ● *electronii liberi* – metale; ● *ionii* (pozitivi și negativi) – lichide; ● *ionii și electronii* – gaze (în cazul fulgerelor și a trăsnetelor).

În figura II.15 este prezentat un circuit electric. Identifică elementele din care este alcătuit circuitul electric. Discută cu profesorul și colegii!



### Activitate experimentală

● Ai la dispoziție o baterie electrică, un bec montat pe suport, un întrerupător, conductori de legătură. Realizează circuitul din figura II.15. Închide circuitul cu ajutorul întrerupătorului. Ce ai observat? Repetă experimentul, schimbând succesiunea conectării becului și a întrerupătorului. Realizează circuitul fără a monta bateria. Mai luminează becul? Formulează concluzii cu privire la funcționarea circuitului.



Circuit electric  
Figura II.15



### Reține!

Un *circuit electric simplu* prin care trece curentul electric conține: *generatorul, consumatorul, conductoarele de legătură, întrerupătorul*.

Ai observat că, pentru a funcționa un circuit electric, este necesară conectarea unei baterii sau a unui generator electric, iar toate legăturile electrice trebuie să se realizeze cu materiale conductoare electrice.



### Reține!

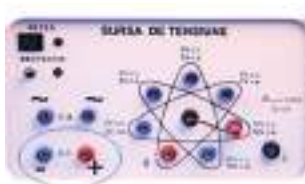
Printr-un circuit electric trece curent electric atunci când întrerupătorul este închis. La deschiderea întrerupătorului, prin circuit nu mai trece curent electric, prin urmare circuitul nu mai funcționează.



### Definiție

*Generatorul electric* este un dispozitiv cu ajutorul căruia se pot pune în mișcare sarcinile electrice atunci când aceasta este conectat într-un circuit electric închis. *Consumatorul* este un dispozitiv prin care, pentru a putea funcționa, trece un curent electric. El este caracterizat de o mărime fizică numită *rezistență electrică*. *Întrerupătorul* este un dispozitiv care permite deschiderea și închiderea circuitului electric.

Cunoști diferite tipuri de generatoare, de la bateriile simple, încărcătorul laptopului sau al telefonului mobil la generatorul aflat în laborator. Ai observat că bateriile și sursa de tensiune din laborator au marcate semnele „+” și „-” (figura II.16).



Generatoare electrice  
Figura II.16

Generatorul este conectat în circuit prin intermediul a două borne: *borna pozitivă*, numită *anod*, și *borna negativă*, numită *catod*. De asemenea, ai observat că legarea elementelor de circuit s-a realizat prin intermediul a două borne. Generatorul, becul, conductoarele de legătură, întrerupătorul au două borne, motiv pentru care se mai numesc *elemente dipolare* (sau dipol).





### Definiție

Orice porțiune de circuit conectată la restul circuitului prin intermediul a două borne se numește **dipol**. Porțiunea de circuit care conține generatorul este un **dipol activ**, iar cea care conține consumatorii (de exemplu becul) este un **dipol pasiv**.

La Fizică, pentru studiul circuitelor electrice se folosește reprezentarea prin scheme. Schemele conțin simboluri ale elementelor de circuit. Reprezentarea circuitului prin scheme contribuie la înțelegerea mai facilă a funcționării sau a construcției acestuia. În tabelul de mai jos sunt prezentate simboluri ale diferitelor elemente de circuit.

| Generator electric | Consumatori                      | Înterupător deschis și închis | Fire de legătură conectate și neconectate | Aparate de măsură               |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|---|---------------------------------|
| <br><br>           | bec electric<br><br>rezistor<br> | <br>                          | <br>                                      | ampermetru<br><br>voltmetru<br> |



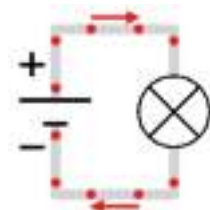
### Activități de învățare și de autoevaluare

Realizează schema circuitului din figura II.15 folosind simbolurile elementelor de circuit. Cere ajutorul profesorului dacă nu ai reușit. Generatorul electric imprimă un anumit sens curentului electric în circuit.



### Definiție

Sensul convențional al curentului electric este dat de sensul de mișcare al sarcinilor pozitive într-un circuit, plecând de la borna pozitivă a sursei spre borna negativă, în afara generatorului. În interiorul generatorului, sensul curentului electric este de la borna negativă la borna pozitivă a sursei (figura II.17).



Sensul convențional al curentului electric

Figura II.17

Generatoarele electrice transformă o energie oarecare, numită energie primară, în energie electrică. Generatoarele electrice sunt de mai multe tipuri, funcție de energia transformată în energie electrică: ● *elemente galvanice și acumulate electrice* – energia chimică este transformată în energie electrică ● *dinamuri și alternatoare* – energia mecanică este transformată în energie electrică ● *termoelemente* – energia termică este transformată în energie electrică ● *fotoelemente* – energia luminoasă este transformată în energie electrică ● *generatoare nucleare* – energia nucleară este transformată în energie electrică.

### II.2.2. Tensiunea electrică. Intensitatea curentului electric

În clasa a VII-a ai studiat noțiunea de lucru mecanic. Ai aflat atunci că lucrul mecanic este efectuat de o forță care își deplasează punctul de aplicație pe direcția și în sensul forței. Ai învățat în primele lecții din acest capitol despre forța electrică. În continuare, vom analiza lucrul mecanic efectuat de forțele electrice atunci când deplasează sarcini electrice.



Pentru a deplasa purtătorii de sarcină electrică între două puncte ale unui circuit electric, forțele electrice efectuează un lucru mecanic.



### Definiție

**Tensiunea electrică** între două puncte ale unui circuit electric, notată cu  $U$ , este mărimea fizică scalară egală cu raportul dintre lucrul mecanic  $L$  efectuat pentru deplasarea sarcinii  $q$  între cele două puncte și sarcina respectivă:  $U = \frac{L}{q}$  (II.3)

Unitatea de măsură pentru tensiunea electrică în S.I. este:  $[U]_{SI} = \frac{J}{C} = V$  (volt)

Între două puncte ale unui circuit este o tensiune de 1 V dacă pentru deplasarea unei sarcini electrice de 1 C între cele două puncte se efectuează un lucru mecanic de 1 J.

*Denumirea de volt a fost aleasă ca recunoaștere a importanței rolului savantului italian Alessandro Volta, în studiul fenomenelor electrice, el inventând primul element galvanic, 1799 (pila Volta).*



### Activități de învățare și de autoevaluare

Documentează-te și realizează un eseu despre pilele electrice.

### Intensitatea curentului electric

Ai aflat în lecția anterioară că mișcarea dirijată a purtătorilor de sarcină electrică formează un curent electric. Pentru ca becul din figura II.18 să lumineze, trebuie conectate bornele bateriei la bornele becului prin intermediul firelor conductoare, astfel încât curentul electric să transmită energia de la generator la consumator.

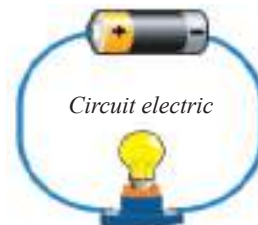


Figura II.18



### Observație

Într-un circuit electric închis, deplasarea purtătorilor de sarcină este continuă (nu apar, nu dispar și nici nu se acumulează în vreo parte a circuitului).

Intensitatea luminii emise de un bec conectat într-un circuit electric este cu atât mai mare cu cât consumă mai multă energie de la generator. Energia este adusă de sarcinile electrice care formează curentul. Un curent care aduce în unitatea de timp mai multe sarcini la bec va aduce și mai multă energie de la generator.

O caracteristică importantă a curentului electric o reprezintă *intensitatea curentului electric*.



### Definiție

**Intensitatea curentului electric**, notată cu litera  $I$ , reprezintă mărimea fizică scalară ce exprimă sarcina electrică ce străbate suprafața transversală a unui conductor în unitatea de timp (figura II. 19):

$$I = \frac{q}{\Delta t} \quad (\text{II.4})$$

unde  $\Delta t$  reprezintă durată trecerii curentului electric prin conductor.

Unitatea de măsură pentru intensitatea curentului electric în S.I. este:

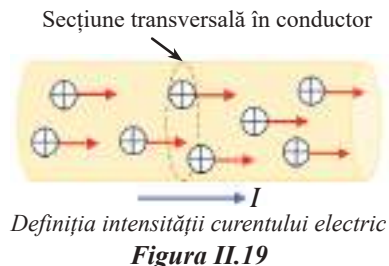
$$[I]_{SI} = A \text{ (amper)} \quad \text{unde } 1 A = \left( \frac{e}{1,602\,176\,634 \times 10^{-19}} \right) s^{-1} \quad (\text{începând cu 20 mai 2019}).$$



### Observație

1. Intensitatea curentului electric este o mărime fizică fundamentală în S.I.
2. Amperul este unitate de măsură fundamentală în S.I.
3. Termenul de amper provine de la numele fizicianului francez, André Marie Ampère.
4. Din relația (II.4) rezultă ecuația unității de măsură pentru sarcina electrică:

$$[q]_{SI} = A \cdot s = C \text{ (coulomb)}$$



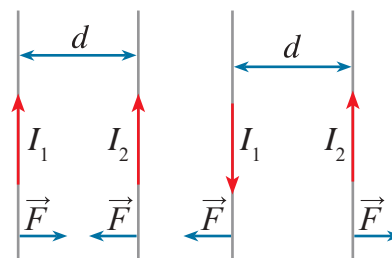
### Definiție

O sarcină electrică de 1 C este sarcina electrică transportată printr-o secțiune transversală a unui conductor, timp de o secundă, de un curent electric constant cu intensitatea de un amper.

**Scurt istoric:** André Marie Ampère (1775 – 1836) – fizician, matematician, chimist și filosof francez. A introdus în Fizică noțiunea de curent electric. În 1820, Ampère își orientează cercetările spre studierea fenomenelor de interacțiune dintre curentul electric și magneți. A construit primele aparate de măsură a intensității curentului electric: ampermetre și galvanometre. A formulat ipoteza despre natura magnetismului.



La baza definiției unității de măsură a intensității curentului electric, în perioada 1954 – 2019, a stat fenomenul de interacțiune dintre două conductoare electrice parcurse de curent, fenomen descoperit de Ampère. Două conductoare paralele, liniare și mobile se conectează la o sursă de curent. În funcție de sensul curenților, conductoarele se atrag sau se resping. Forța cu care interacționează conductoarele depinde de lungimea conductoarelor, distanța dintre ele, mediul în care se află conductoarele și intensitatea curentului care circulă prin ele.



**1 A** este intensitatea unui curent electric constant care, menținut în două conductoare paralele și rectilinii de lungime infinită, de secțiune transversală circulară neglijabilă și plasate în vid la distanța de un metru unul de celălalt, produce între aceste conductoare o forță egală cu  $2 \cdot 10^{-7}$  N pe fiecare metru de lungime. (Sistemul Internațional de Unități, 1954 – 2019).

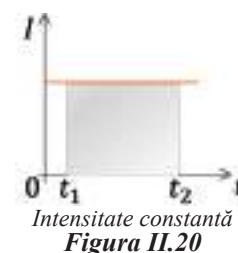
În funcție de dependența de timp a intensității curentului, se folosesc următoarele denumiri:

- **curentul continuu** (prescurtat *cc*) – sensul curentului electric rămâne tot timpul același;
- **curentul alternativ** (prescurtat *ca*) – sensul curentului se inversează periodic;
- **curentul variabil** – intensitatea curentului se modifică în timp.

Dependența de timp a intensității unui curent electric continuu constant este reprezentată în figura II.20. În intervalul de timp  $\Delta t$ , prin conductor trece sarcina:

$$q = I \cdot \Delta t \quad (\text{II.5})$$

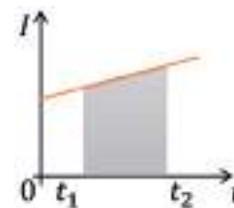
Din desenul alăturat, se observă că aria suprafeței hașurate, delimitată de graficul intensității și axa timpului, cuprinsă între coordonatele  $t_1$  și  $t_2$ , este numeric egală cu sarcina  $q$ .





### Activități de învățare și de autoevaluare

În figura II.21 este prezentată dependența de timp a intensității unui curent electric continuu variabil. În acest caz, găsește expresia sarcinii electrice ce trece prin secțiunea transversală a conductorului parcurs de curent electric în intervalul de timp  $t_2 - t_1$ . Formulează o concluzie cu privire la semnificația ariei suprafeței hașurate.



Intensitate variabilă

Figura II.21

Intensitatea curentului electric se măsoară cu ajutorul unui instrument numit **ampermetru** (figura II.23 a).

În schemele electrice, simbolul pentru ampermetru este:



Conectarea ampermetrului în circuit

Figura II.22



### Reține!

Într-un circuit electric, ampermetrul se conectează în serie, respectând polaritatea (figura II.22).



### Observație

Curenții ale căror intensități au valori mici se măsoară cu instrumente numite miliampermetru, microampermetru, galvanometru (este un instrument de măsură pentru curenți de intensități foarte mici) etc. (figura II.23 b).



### Activitate experimentală

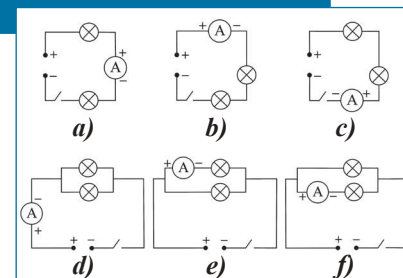
#### Măsurarea intensității curentului electric

##### • Materiale necesare:

► ampermetru, două becuri, fiecare pe suport, sursă de tensiune, conductori de legătură.

##### • Mod de lucru:

1. Montează circuitele din figura a), b), c), conectând becurile în serie.
2. Măsoară intensitatea curentului.
3. Formulează concluzia corespunzătoare asupra valorii intensității curentului.
4. Montează circuitele din figura d), e), f), conectând consumatorii în paralel.
5. Măsoară intensitatea curentului.
6. Formulează concluzia corespunzătoare asupra valorii intensității curentului.



### Reține!

Intensitatea curentului este aceeași în orice secțiune a unui circuit electric simplu.

La conectarea **în serie** a doi consumatori, intensitatea curentului este aceeași prin fiecare dintre ei:  $I_1 = I_2 = I$ .

La conectarea **în paralel** a doi consumatori, intensitatea curentului pe porțiunea neramificată este egală cu suma intensităților curenților prin ramuri:  $I_1 + I_2 = I$ .

Orice consumator este construit astfel încât să funcționeze corect la o anumită valoare a intensității curentului, numită **intensitate nominală**. Pentru a fi parcurs de un curent de intensitate nominală, la bornele consumatorului trebuie să se aplice o anumită tensiune, numită **tensiune nominală**. Aceste valori sunt indicate, de regulă, pe fiecare consumator.

Aplicarea unui curent sau a unei tensiuni mai mari decât valorile nominale conduce la distrugerea consumatorului. A se vedea ce se întâmplă cu un bec atunci când apar fluctuații de tensiune!

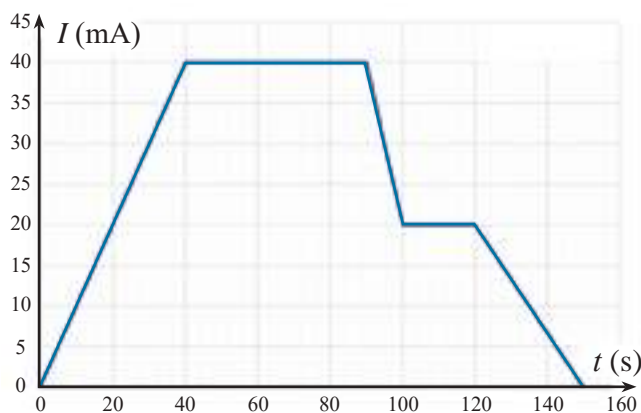


### Activități de învățare și de autoevaluare

1. Tensiunea electrică dintre două puncte este de 12 V. Află lucrul mecanic efectuat pentru deplasarea unei sarcini de 5 C între aceste două puncte.

2. Cât este sarcina electrică a electronilor ce trec prin secțiunea conductorului atunci când curentul electric care îl parcurge crește liniar, de la  $I = 0$  la  $I = 0,5$  A, în timp de 10 s?

3. Graficul intensității curentului electric în funcție de timp este prezentat în imaginea alăturată. Află: a) sarcina electrică a electronilor ce străbat circuitul în primele 40 s, în următoarele 50 s și în ultimele 30 s; b) sarcina electrică totală a electronilor ce străbat circuitul în cele 150 s; c) cât este valoarea medie a intensității curentului electric?



### II.2.3. Instrumente pentru măsurări electrice – ampermetrul, voltmetrul, ohmmetrul, wattmetrul, multimetrul

#### Învăță din imagini!

Urmărește imaginile din figura II.23 și identifică aparatele de măsură studiate până în prezent.

Aparatele pentru măsurări electrice prezentate în figura II.23 le întâlnești în laboratorul de Fizică și sunt utilizate pentru măsurarea diferitelor mărimi fizice din domeniul electric, cum ar fi intensitatea curentului electric, tensiunea electrică, puterea electrică, rezistența electrică sau, în cazul multimetrului, diverse mărimi.



### Definiție

Un *aparat de măsură pentru mărimi electrice* este orice dispozitiv special realizat pentru afișarea acelei mărimi într-un format ce poate fi interpretat de către un operator uman.

În figurile II.23 a) – e), sunt prezentate aparate analogice, la care afișarea mărimii fizice se realizează prin deplasarea unui indicator pe o scală gradată.

Aparatele digitale, de tipul celui reprezentat în figura II.23 f), folosesc afișaje numerice. Aparatele digitale care pot măsura mai multe mărimi electrice se numesc multimetre digitale. Multimetrele digitale au un buton selector de funcții cu care pot fi adaptate să măsoare mărimea electrică de studiat. Butonul selector de funcții permite și alegerea intervalului de mărime în care se află mărimea electrică măsurată.

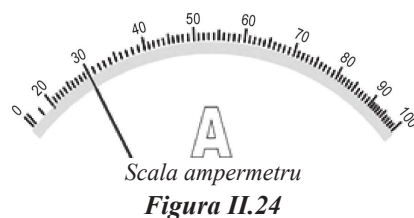
În cele ce urmează vom analiza un **aparat analogic** pentru a înțelege cum anume îl poți utiliza în experimentele de laborator.

Înainte de a-l folosi este necesar să cunoști câteva specificații ale acestuia. Pe scala aparatului vei remarca gradații, precum și simboluri care se referă la:

- unitatea de măsură: A, mA,  $\mu$ A, V,  $\Omega$ , W;
- tipul de curent care trebuie măsurat: „=” pentru curent continuu și „~” pentru curentul alternativ;
- poziția de lucru a aparatului: verticală „ $\perp$ ”, orizontală „—” sau oblică „ $\angle$ ”.

În cazul ampermetrului pentru curent continuu din figura II.23 a), acesta are o bornă „—” notată cu O și trei borne „+” notate cu 50 mA, 500 mA, 5 A. Aceasta înseamnă că ampermetrul este calibrat pentru a măsura intensități ale curenților de maximum 50 mA, 500 mA, respectiv 5 A. Aceste valori maxime se mai numesc și „calibre”. Legarea ampermetrului în circuit se face prin intermediul bornei notate cu O și a uneia dintre cele trei borne „+”, astfel încât curentul care vine de la borna „+” a generatorului să intre prin borna „+” a aparatului de măsurat. În cazul voltmetrului din figura II.23 c), acesta este calibrat pentru a măsura tensiuni de maximum 3 V, 15 V, respectiv 30 V.

*Exemplu:* Scala ampermetrului din figura II.24 are 100 de diviziuni. Presupunem că aparatul este calibrat să măsoare curenți de maximum 5 A. Înseamnă că la 5 A corespund 100 diviziuni, prin urmare o diviziune corespunde la (5/100) A. În figură se observă că indicatorul s-a oprit la diviziunea 30. Prin urmare, intensitatea curentului indicată de aparat este dată de relația:  $30 \times (5/100) = 1,5$  A.



**Figura II.24**



### Reține!

Pentru a afla valoarea mărimii fizice măsurate cu un instrument de măsură analogic se poate utiliza următoarea formulă:

$$\text{Mărimea fizică măsurată} = \frac{\text{valoarea calibrului}}{\text{numărul diviziunilor scalei}} \times \text{numărul de diviziuni citite}$$

**Aparatele digitale**, de tipul celui din figura II.23 f), se numesc multimetre și permit măsurarea mai multor mărimi fizice, funcție de complexitatea de construcție a acestora. Multimetrul pe care îl întâlnești în laboratorul de Fizică permite măsurarea tensiunilor electrice, a intensității curentului și a rezistenței electrice a unui consumator.

Multimetrul din imaginea alăturată are selectorul de funcții așezat în poziția 20 din domeniul V, adică este setat pentru a măsura tensiuni de maximum 20V. De exemplu, pentru a măsura tensiunea la bornele unui consumator, una din bornele consumatorului trebuie legată la borna comună COM („—”) din mijlocul panoului frontal al aparatului, iar cealaltă bornă a consumatorului la borna din dreapta („+”), care este marcată cu litera V.



**Figura II.25 – Multimetru**

**ATENȚIE!** Nu legați bornele unui generator direct la bornele ampermetrului deoarece se produce scurtcircuit și curentul de intensitate foarte mare deteriorează atât ampermetrul, cât și generatorul! Respectați întotdeauna regula de legare a aparatelor de măsurat mărimi electrice continue: curentul intră prin borna „+” și iese prin borna „-”!



Figura II.26

Măsurarea rezistenței electrice a unui consumator se poate face direct utilizând ohmmetrul/multimetrul. Pentru aceasta, se poziționează selectorul de funcții în domeniul marcat cu litera  $\Omega$ , apoi se conectează borna comună și borna marcată cu  $\Omega$  la bornele consumatorului.



### Activități de învățare și de autoevaluare

1. Un voltmetru a cărui scală are 30 de diviziuni are următoarele calibre: 3 V, 15 V, 30 V. Măsurând tensiunea între două puncte ale unui circuit, pe calibrul de 15 V, acul indicator s-a oprit în dreptul gradației 22. Ce valoare are tensiunea electrică măsurată? Dar dacă calibrul era 3 V, ce valoare avea tensiunea electrică indicată de aparat?

2. Valoarea maximă pe care o poate măsura un ampermetru este  $I_{max} = 3$  A. Scala are  $N = 30$  diviziuni. Introdus în circuit, acul indicator arată diviziunea  $N_1 = 25$ . Află intensitatea curentului electric. Aceeași cerință pentru cazul în care  $I'_{max} = 0,01$  A,  $N' = 100$  diviziuni, iar  $N'_1 = 72$  de diviziuni.

## II.2.4. Tensiunea electromotoare

### Tensiunea electromotoare. Tensiunea la borne. Tensiunea interioară

Într-un circuit electric, purtătorii de sarcină se deplasează în întregul circuit, atât în cel exterior (*ext.*), cât și în cel interior (*int.*) al generatorului. Lucrul mecanic total ( $L_t$ ) efectuat pentru a deplasa sarcina electrică în întregul circuit se poate scrie:

$$L_t = L_{ext} + L_{int} \quad (II.6)$$



### Definiție

**Tensiunea electromotoare (t.e.m.)**, notată cu litera  $E$ , se definește ca raportul dintre lucrul mecanic total efectuat pentru a deplasa sarcina electrică în întregul circuit și sarcina respectivă:  $E = \frac{L_t}{q}$  (II.7)

**Tensiunea la borne**, notată cu litera  $U$ , se definește ca raportul dintre lucrul mecanic efectuat pentru a deplasa sarcina electrică prin circuitul exterior generatorului și sarcina respectivă:  $U = \frac{L_{ext}}{q}$  (II.8)

**Tensiunea interioară**, notată cu litera  $u$ , se definește ca raportul dintre lucrul mecanic efectuat pentru a deplasa sarcina electrică prin circuitul interior generatorului și sarcina respectivă:  $u = \frac{L_{int}}{q}$  (II.9)

Ce unitate de măsură are t.e.m.  $E$ ? Dar  $u$ ?




### Observație

Prin înlocuirea relațiilor II.7, II.8 și II.9 în relația II.6 se obține:

$$E = U + u \quad (II.10)$$

Această relație exprimă **bilanțul tensiunilor într-un circuit**.

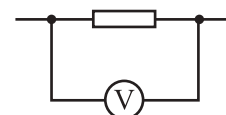


Tensiunea electrică se măsoară cu **voltmetrul** (figura II.23 c). În schemele electrice, simbolul pentru voltmetru este: 



### Reține!

Voltmetrul se conectează în paralel cu porțiunea de circuit pe care se măsoară tensiunea, respectând polaritatea (figura II.27).



Conectarea  
voltmetrului  
în circuit  
**Figura II.27**



### Activitate experimentală

#### Măsurarea tensiunii electrice

##### • Materiale necesare:

► voltmetru, două becuri de tensiune joasă, fiecare pe suport, sursă de tensiune, conductori de legătură, întrerupător.

##### • Mod de lucru:

1. Montează circuitele din figura II.28 a), b), c), conectând becurile în serie.

► Măsoară tensiunea pentru fiecare caz în parte, la închiderea întrerupătorului.

► Măsoară tensiunea în circuitul deschis.

► Formulează concluzia corespunzătoare asupra valorii tensiunii electrice.

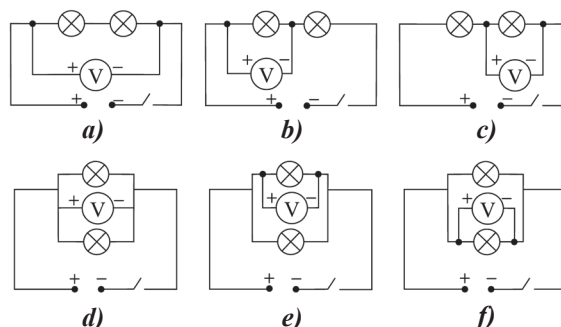
2. Montează circuitele din figura II.28 d), e), f), conectând consumatorii în paralel.

► Măsoară tensiunea pentru fiecare caz în parte, în circuit deschis și închis; Formulează concluzia corespunzătoare asupra valorii tensiunii electrice.

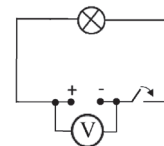
3. Montează circuitul din figura II.29.

► Măsoară tensiunea în circuit deschis și în circuit închis.

► Formulează concluzia corespunzătoare asupra valorii tensiunii electrice arătate de voltmetru la închiderea și deschiderea circuitului.



**Figura II.28**



**Figura II.29**



### Reține!

La conectarea **în serie** a doi consumatori, tensiunea totală este egală cu suma tensiunilor de pe fiecare porțiune de circuit:  $U_1 + U_2 = U$ .

La conectarea **în paralel** a doi consumatori, tensiunea totală este egală cu tensiunea de pe fiecare consumator:  $U_1 = U_2 = U$ .

În **circuit deschis**, tensiunea măsurată de voltmetru este aceeași și reprezintă tensiunea electromotoare a sursei.

*T.e.m.* este o caracteristică a generatoarelor electrice. Valoarea ei este independentă de structura circuitului exterior. *Tensiunea la borne* și *tensiunea interioară* se modifică în funcție de elementele circuitului.

## II.2.5. Rezistența electrică

Sarcina electrică se deplasează într-un conductor dacă la capetele acestuia se aplică o tensiune electrică. Cât de ușor se deplasează sarcina într-un conductor este o caracteristică a acestuia și variază de la un conductor la altul. În cele ce urmează, vom analiza particularitățile mișcării sarcinilor electrice prin conductori.





### Activitate experimentală

1. Ai la dispoziție o sursă de 3 V, fire de legătură, ampermetru, becuri de diferite tensiuni nominale (3,5 V și 6,3 V) și un întrerupător. Realizează circuitul din figura II.30, conectând în circuit, pe rând, cele 2 becuri.

Închide întrerupătorul și notează valoarea intensității curentului electric. Observă intensitatea luminii emise de becul de 3,5 V. Înlocuiește becul cu cel de 6,3 V. Repetă operațiile de mai înainte. Ce observi în acest caz?

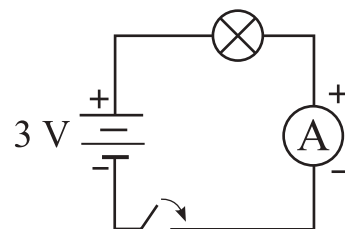


Figura II.30



### Concluzie

Aceeași tensiune aplicată unor consumatoare/conductoare diferite produce curenți de intensități diferite. Înseamnă că fiecare consumator/conductor se opune în mod diferit trecerii curentului electric. Diferențele observate se datorează atât materialelor diferite, cât și dimensiunilor diferite ale acestora.

Având în vedere cele constatate, se impune definirea unei mărimi fizice care să permită compararea cantitativă a proprietății conductoarelor de a se opune trecerii curentului electric.



### Definiție

Mărimea fizică scalară ce caracterizează proprietatea unui conductor de a se opune trecerii curentului electric se numește **rezistență electrică** și se notează cu litera  $R$ .

Rezistența electrică a unui conductor (dipol pasiv) este egală cu raportul dintre tensiunea aplicată acestuia și intensitatea curentului produs prin aplicarea tensiunii:

$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{II.11})$$

Unitatea de măsură a rezistenței electrice se numește **ohm**, cu simbolul  $\Omega$  (litera grecească omega), iar ecuația unității de măsură este:

$$[R]_{SI} = \frac{V}{A} = \Omega \text{ (Ohm)} \quad (\text{II.12})$$

1 ohm este rezistența unui conductor parcurs de un curent cu intensitatea de 1 A, atunci când la capetele acestuia se aplică o tensiune de 1 V.

Elementul de circuit caracterizat de rezistența electrică se numește **rezistor**.

În schemele electrice, rezistorul se reprezintă prin simbolul:

Pentru valori mari ale rezistențelor electrice se folosesc multiplii ohmului:

kiloohmul  $1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega$

megaohmul  $1 \text{ M}\Omega = 1\,000\,000 \Omega$



### Reține!

#### Rezistențele aparatelor de măsură – ampermetru și voltmetru

Pentru ca aparatele de măsură să nu modifice circuitul în care sunt introduse, trebuie ca rezistența ampermetrului să fie cât mai mică ( $R_A \approx 0$ ), iar rezistența voltmetrului să fie cât mai mare ( $R_V \rightarrow \infty$ ).



## Activitate experimentală

### Determinarea valorii unei rezistențe electrice

#### • Materiale necesare:

► generator de tensiune stabilizată 0 – 24 V, ampermetru, voltmetru, rezistor cu rezistență necunoscută, conductoare de legătură, întrerupător.

#### • Mod de lucru:

1. Realizează montajul din figura II.31.
2. Fixează o anumită valoare a tensiunii generatorului. Citește indicațiile voltmetrului și ale ampermetrului la închiderea circuitului.
3. Variaza tensiunea generatorului și repetă citirea indicațiilor voltmetrului și ale ampermetrului.
4. Introdu datele obținute în tabelul de date experimentale.
5. Calculează valorile raportului  $U/I$ .
6. Efectuează calculul erorilor și identifică sursele de erori.
7. Scrie valoarea rezistenței.

#### • Tabel de date experimentale

| Nr. crt. | $U$ (V) | $I$ (mA) | $R$ ( $\Omega$ ) | $\bar{R}$ ( $\Omega$ ) | $\Delta R$ ( $\Omega$ ) | $\Delta \bar{R}$ ( $\Omega$ ) |
|----------|---------|----------|------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|
|          |         |          |                  |                        |                         |                               |

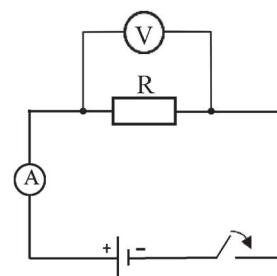


Figura II.31



## Activitate experimentală

### Dependența rezistenței electrice de dimensiunile conductorului și de material

Ai la dispoziție o sursă de tensiune 0 – 24 V, trei fire de nichelină calibrate, de secțiuni transversale diferite, un fir din alt material – manganină sau crom-nichel – două multimetre digitale și stativ.

1. Realizează circuitul din figura II.32. Cu ajutorul contactului C, variaza lungimea porțiunii de conductor parcursă de curent.

2. Studiază dependența rezistenței electrice a conductorului de:

a) lungimea conductorului; b) aria secțiunii transversale.

3. Folosește informația din tabelul de mai jos.

Compară  $R_1$ ,  $R_2$  și  $R_3$  pentru fiecare caz. Formulează concluziile corespunzătoare.

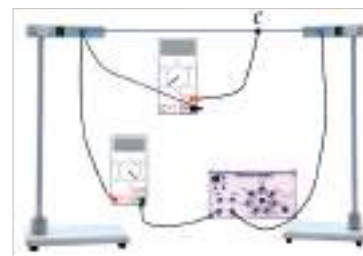


Figura II.32

| $S_1 = S_2 = S_3$ |         | $S_1 < S_2 < S_3$ |          |
|-------------------|---------|-------------------|----------|
| $\ell/4$          | $R_1 =$ | $\ell$            | $R_1' =$ |
| $\ell/2$          | $R_2 =$ | $\ell$            | $R_2' =$ |
| $\ell$            | $R_3 =$ | $\ell$            | $R_3' =$ |

4. Înlocuiește firul de nichelină cu unul din alt material, de aceeași lungime,  $\ell$ , și aria secțiunii transversale,  $S_1$ . Măsoară valoarea rezistenței electrice,  $R_4$ .



## Reține!

Rezistența electrică a unui conductor cilindric și omogen este direct proporțională cu lungimea conductorului și invers proporțională cu aria secțiunii transversale.

Rezistența unui conductor depinde de materialul din care este confecționat.

Fiecare material este caracterizat printr-o constantă de material, numită rezistență specifică sau **rezistivitate**, notată cu litera grecească  $\rho$ , ro.



### Definiție

Rezistența unui conductor cilindric și omogen este direct proporțională cu lungimea conductorului,  $\ell$ , invers proporțională cu aria secțiunii transversale,  $S$ , și depinde de natura materialului din care este confecționat conductorul,  $\rho$ :

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \quad (\text{II.13})$$

Din relația (II.13) rezultă că:  $\rho = \frac{R \cdot S}{\ell} \quad (\text{II.14})$

Unitatea de măsură pentru rezistivitatea electrică este:  $[\rho]_{SI} = \frac{\Omega \cdot \text{m}^2}{\text{m}} = \Omega \cdot \text{m} \quad (\text{II.15})$

| substanța | $\rho(\Omega \cdot \text{m})$ | substanța  | $\rho(\Omega \cdot \text{m})$ | substanța   | $\rho(\Omega \cdot \text{m})$ |
|-----------|-------------------------------|------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|
| aluminiiu | $2,63 \cdot 10^{-8}$          | argint     | $1,47 \cdot 10^{-8}$          | cupru       | $1,72 \cdot 10^{-8}$          |
| apă       | $1 \cdot 10^{-8}$             | constantan | $48 \cdot 10^{-8}$            | fier-nichel | $80 \cdot 10^{-8}$            |
| manganină | $30 \cdot 10^{-8}$            | wolfram    | $5,51 \cdot 10^{-8}$          | fier        | $20 \cdot 10^{-8}$            |
| oțel      | $12 \cdot 10^{-8}$            | nichelină  | $42 \cdot 10^{-8}$            | nichel-crom | $100 \cdot 10^{-8}$           |
| sticlă    | $10^{10}-10^{14}$             | teflon     | $>10^{13}$                    | lemn        | $10^8-10^{11}$                |

**Tabel II.1:** Rezistivități ale unor substanțe la temperatura camerei (20°C)

În tabelul II.1 poți observa că materialele conductoare (metalele și aliajele acestora) au rezistivitatea foarte mică, pe când cele izolatoare (sticlă, lemn etc.) au rezistivitatea foarte mare.



### Observație

Este important să faci distincție între rezistență și rezistivitate. Rezistivitatea este o proprietate a materialului conductorului, independentă de forma și dimensiunea acestuia, pe când rezistența depinde atât de forma și dimensiunile conductorului, cât și de rezistivitate.

### Dependența rezistenței electrice de temperatură



### Activitate experimentală

#### Dependența rezistenței electrice de temperatură

Ai nevoie de un fir de nichelină subțire și suficient de lung, o sursă de căldură (reșou), ohmmetru (multimetru).

1. Măsoară rezistența firului cu ajutorul ohmmetrului.
2. Așază firul pe sursa de căldură. Urmărește variația rezistenței firului pe măsură ce se încălzește reșoul.
3. Formulează o concluzie cu privire la variația rezistenței electrice cu temperatura.



### Reține!

Rezistența electrică a unui conductor crește, în general, odată cu creșterea temperaturii.



## Observație

1. Variația rezistenței cu temperatura se poate exprima printr-o relație matematică de forma:

$$R = R_0 (1 + \alpha t) \quad (\text{II.16})$$

unde,  $R_0$  este rezistența electrică a conductorului la  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ,  $R$  – rezistența la temperatura  $t$ , iar  $\alpha$  – coeficientul de temperatură al rezistivității, cu unitatea de măsură  $\text{grad}^{-1}$  sau  $(^\circ\text{C})^{-1}$ . În general, pentru metale,  $\alpha$  variază între  $0,003$  și  $0,005$   $(^\circ\text{C})^{-1}$ . De fapt, în expresia lui  $R$  (II.13), mărimea care variază cu temperatura este rezistivitatea electrică.

2. Unele materiale, inclusiv câteva aliaje metalice și oxizi, prezintă un fenomen numit supraconductibilitate. În aceste materiale, odată cu scăderea temperaturii sub o anumită valoare, numită temperatură critică, specifică materialului, rezistența electrică scade foarte repede, devenind practic nulă.

**Scurt istoric.** Fenomenul de supraconductibilitate a fost descoperit în 1911 de Heike Kamerlingh Onnes (1853 – 1926), fizician olandez, laureat al Premiului Nobel în 1913. Măsurând rezistența electrică a mercurului la temperaturi foarte scăzute ( $-269^\circ\text{C}$ ), el a observat o scădere bruscă a rezistenței la zero. Cercetările recente (2010) au arătat existența fenomenului de supraconductibilitate la temperaturi de  $-113^\circ\text{C}$ , astfel încât posibilitatea descoperirii unor materiale care să devină supraconductoare la temperatura camerei poate deveni o realitate. Implicațiile acestor descoperiri sunt importante pentru transporturi, sistemul de distribuție a energiei electrice sau designul calculatoarelor.



### Problemă rezolvată

Un fir conductor are rezistența de  $1,02 \Omega$  la temperatura de  $20^\circ\text{C}$ . Află rezistența firului la  $0^\circ\text{C}$  și la  $100^\circ\text{C}$ . Coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura este  $\alpha = 0,0039$   $(^\circ\text{C})^{-1}$ .

| Rezolvare  | Indicații de rezolvare   |
|--|--|
| $R = R_0 (1 + \alpha t) \rightarrow R_0 = \frac{R}{(1 + \alpha t)}$ $R_0 = \frac{1,02 \Omega}{1 + 0,0039 (^\circ\text{C})^{-1} \cdot 20^\circ\text{C}} \cong 0,94 \Omega$ $R_{(100^\circ\text{C})} = 0,94 \Omega [1 + 0,0039 (^\circ\text{C})^{-1} \cdot 100^\circ\text{C}] \cong 1,31 \Omega$ | <p>Înlocuiește datele în ecuația II.16 și realizează calculele numerice.</p> |



## Activități de învățare și de autoevaluare

1. La bornele unui conductor cu rezistența de  $470 \Omega$  se aplică o tensiune de  $12 \text{ V}$ . Ce valoare are intensitatea curentului care îl străbate?
2. Un fir de cupru cu lungimea de  $14 \text{ m}$  și diametrul de  $1,628 \text{ mm}$  este străbătut de un curent de  $12,5 \text{ mA}$ . Află rezistența electrică a firului și tensiunea aplicată la capetele acestuia. Rezistivitatea cuprului este  $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ .
3. Ce diametru trebuie să aibă un fir de cupru dacă rezistența lui este egală cu cea a unui fir identic ca lungime din aluminiu, a cărui diametru este de  $3,26 \text{ mm}$ ? Rezistivitatea cuprului este  $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ , iar a aluminiului este  $2,63 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ .
4. Dacă triplezi lungimea unui conductor și în același timp dublezi diametrul acestuia, ce valoare va avea noua rezistență a acestuia comparativ cu valoarea inițială,  $R$ ?
5. Documentează-te și realizează un eseu cu privire la rezistența electrică a corpului omenesc.

### II.2.6. Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit

În lecția anterioară ai învățat despre rezistența electrică a unui conductor și ai aflat că este egală cu raportul dintre tensiunea aplicată acestuia și intensitatea curentului produs prin aplicarea tensiunii. În cele ce urmează, vei studia dependența intensității curentului pe o porțiune de circuit de tensiunea aplicată acestei porțiuni și rezistența acesteia.



#### Activitate experimentală

Ai la dispoziție un generator cu tensiune variabilă, ampermetru, voltmetru, conductor metalic (rezistor), întrerupător, conductoare de legătură.

1. Realizează montajul din figura II.33.
2. Pentru diferite valori ale tensiunii de alimentare, măsoară intensitatea curentului ( $I$ ) ce străbate conductorul metalic (rezistor) și tensiunea ( $U$ ) la bornele lui.
3. Înregistrează datele în tabelul următor:

| Nr. det. | $U$ (V) | $I$ (A) | $U/I$ (V/A) |
|----------|---------|---------|-------------|
|          |         |         |             |

4. Reprezintă grafic dependența intensității curentului de tensiunea aplicată.

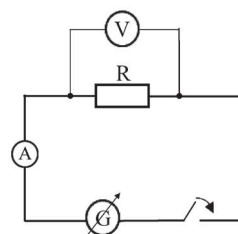


Figura II.33

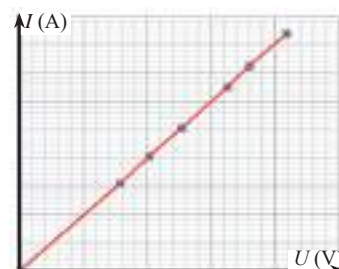


#### Concluzie

Intensitatea curentului printr-un conductor metalic (rezistor) este direct proporțională cu tensiunea aplicată la capetele acestuia (figura II.34).

Pentru un conductor metalic (rezistor), menținut la temperatură constantă, raportul  $U/I$  este constant, fiind o **caracteristică a conductorului (rezistorului)**.

Dependența intensității curentului de tensiunea electrică se numește **caracteristica curent-tensiune** a conductorului metalic (rezistor) și este o semidreaptă ce pornește din originea sistemului de axe.



Caracteristica  $I(U)$   
Figura II.34

Concluziile experimentului de mai sus conduc la formularea legii lui Ohm.



#### Enunț

**Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit:** Intensitatea curentului electric ce străbate un conductor (rezistor), menținut la temperatură constantă, este direct proporțională cu tensiunea electrică aplicată la capetele acestuia.

$$I = \frac{U}{R} \quad (\text{II.17})$$



#### Observație

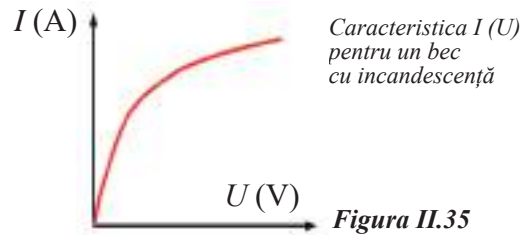
Conductorii (rezistorii) pentru care este valabilă legea lui Ohm se numesc **conductori** (rezistori) **liniari** sau **ohmici**.

Conductorii (rezistorii) pentru care dependența  $I(U)$  este neliniară se numesc **conductori** (rezistori) **neliniari** sau **neohmici** (de exemplu, becul electric, dioda LED etc.)



### Curiozități

În imaginea din figura II. 35 poți vedea caracteristica neliniară,  $I(U)$ , pentru un bec.



**Scurt istoric.** Georg Simon Ohm (1789 – 1854) a fost un fizician și matematician german. Folosind echipamente de creație proprie, Ohm a stabilit că acel curent care trece printr-un fir este proporțional cu aria secțiunii sale transversale și invers proporțional cu lungimea sa. Folosind rezultatele experimentelor sale, Georg Simon Ohm a fost capabil să definească relația fundamentală între tensiune, curent și rezistență. Pentru contribuția sa la dezvoltarea electricității, unitatea de măsură pentru rezistența electrică se numește ohm.



### Activități de învățare și de autoevaluare

1. Spirala unui reșou cu rezistența de  $250 \Omega$  este parcursă de un curent cu intensitatea de 2 A. Determină tensiunea aplicată reșoului.
2. Determină lungimea unui conductor de nichelină cu aria secțiunii transversale de  $0,2 \text{ mm}^2$  din care se confecționează un reșou electric, prevăzut să funcționeze la o tensiune de 220 V și o intensitate de 3 A. Se cunoaște  $\rho_{\text{nichelină}} = 42 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ .
3. Valorile pentru tensiunea  $U$  și intensitatea curentului  $I$  au fost obținute pentru un conductor dintr-un aliaj numit nicrom (nichel-crom). Cerințe: a) construiește caracteristica  $I(U)$  pentru conductorul de nicrom; b) studiază valabilitatea legii lui Ohm pentru acest conductor; c) află rezistența conductorului și exprimă rezultatul în ohmi.

|               |      |      |      |       |
|---------------|------|------|------|-------|
| $U(\text{V})$ | 1,94 | 3,88 | 7,76 | 15,52 |
| $I(\text{A})$ | 0,5  | 1    | 2    | 4     |

4. **Trasarea caracteristicii curent-tensiune pentru un bec.** Pentru efectuarea lucrării, ai nevoie de un generator cu tensiune variabilă, 2 multimetre, bec de 6,3 V montat pe suport, conductoare de legătură.

Realizează un circuit de tipul celui din figura II.33, în care înlocuiești rezistorul cu becul. Urmărește etapele din experimentul propus la începutul lecției.

Realizează referatul lucrării de laborator care să conțină: tema lucrării, teoria lucrării, modul de lucru, tabelul de date experimentale, caracteristica  $I(U)$  pentru bec, interpretarea rezultatelor obținute. Identifică pe grafic porțiunea pe care becul are o comportare de conductor ohmic.

## II.2.7. Legea lui Ohm pentru întregul circuit

În lecțiile anterioare ai învățat despre tensiunea electrică și ai aflat că, într-un circuit electric închis, există relația:

$$E = U + u \text{ (bilanțul tensiunilor – II.8).}$$

Aplicând legea lui Ohm pentru porțiunea de circuit a cărei rezistență este  $R$ , obținem:

$$U = R \cdot I \text{ (II.18)}$$



În același timp, curentul electric străbate și generatorul electric. Acesta are propria rezistență electrică, numită **rezistență internă**, notată cu  $r$  (figura II.36).



### Reține!

Rezistența internă este o caracteristică a generatorului electric, la fel ca și tensiunea electromotoare,  $E$ . Ea nu depinde de structura circuitului exterior.

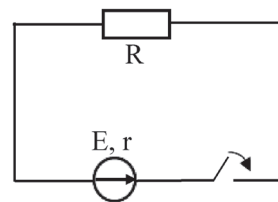


Figura II.36

Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit ne permite să obținem tensiunea la bornele rezistenței interne a generatorului:

$$u = r \cdot I \quad (\text{II.19})$$

Introducem relațiile II.18 și II.19 în relația II.8 și obținem:  $E = R \cdot I + r \cdot I = I(R + r)$ , de unde rezultă:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Această relație exprimă legea lui Ohm pentru întregul circuit.



### Enunț

**Legea lui Ohm pentru întregul circuit:** Intensitatea curentului ce străbate un circuit electric simplu este direct proporțională cu tensiunea electromotoare a generatorului din circuit și invers proporțională cu rezistența totală a circuitului (suma dintre rezistența circuitului exterior și rezistența internă a generatorului):

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (\text{II.20})$$

### Funcționarea în scurtcircuit a generatorului

În exploatarea circuitelor electrice, există situații în care rezistența circuitului exterior unui generator devine foarte mică ( $R \cong 0$ ).

De exemplu, această situație poate fi întâlnită atunci când, accidental, se conectează la bornele unui generator un fir de rezistență foarte mică. În momentul legării firului la bornele generatorului, tensiunea între capetele firului scade brusc la zero, dar generatorul continuă să funcționeze, el producând prin fir un curent, numit **curent de scurtcircuit** (figura II.37.). Spunem, în acest caz, că s-a produs un **scurtcircuit**.

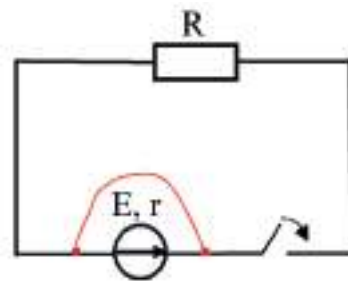


Figura II.37

În asemenea situații, dacă generatorul este o sursă de tensiune stabilizată, un sistem intern de protecție întrerupe funcționarea acesteia pentru a o proteja. Dacă generatorul este o baterie, aceasta nu are sistem de protecție și, de obicei, curentul de scurtcircuit, care este foarte intens, distruge bateria prin încălzire excesivă.

Dacă la bornele unui generator se conectează un rezistor cu rezistența zero, intensitatea curentului devine maximă și se numește **intensitate de scurtcircuit**,  $I_{sc}$ .

Impunând condiția ca  $R = 0$  în relația II.20, se obține:

$$I_{sc} = \frac{E}{r} \quad (\text{II.21})$$

**ATENȚIE!** Un scurtcircuit este periculos deoarece curentul de intensitate foarte mare care ia naștere duce la defectarea generatorului sau la încălzirea puternică a firului, până la incandescență, putând provoca arsuri, aprinderea unor obiecte cu care este în contact, incendii!



## Reține!

Pentru a proteja generatoarele de scurtcircuit, în practică se folosesc sisteme de protecție numite **siguranțe electrice**. Rolul siguranței electrice este de a întrerupe curentul în circuit atunci când intensitatea curentului atinge o valoare maximă admisă.

### Funcționarea în gol a generatorului

Dacă circuitul exterior se întrerupe (circuit deschis), rezistența acestuia devine infinită ( $R \rightarrow \infty$ ), iar intensitatea curentului devine zero. Spunem că **generatorul funcționează în gol**. În acest caz, tensiunea la borne, dată de relația:

$$U = E - r \cdot I, \text{ devine } U = E.$$



## Activitate experimentală

### Trasarea caracteristicii curent-tensiune a unei surse de tensiune stabilizată

#### • Materiale necesare:

► sursă de tensiune stabilizată, 2 multimetre, reostat cu cursor (rezistor a cărui rezistență electrică poate fi variată, între o valoare maximă și una minimă, prin deplasarea mecanică a unui contact electric intermediar, cursor), conductoare de legătură, întrerupător.

#### • Mod de lucru:

1. Realizează circuitul din figura II.38. Pentru determinarea t.e.m.  $E$  a sursei, se lasă întrerupătorul deschis și se citește de câteva ori indicația voltmetrului.

Închide întrerupătorul și citește tensiunea la borne, respectiv intensitatea curentului prin circuit, modificând poziția cursorului reostatului.

2. Introdu datele în tabel de date de mai jos. Reprezintă grafic dependența intensității curentului de tensiunea la borne.

|         |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U$ (V) |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $I$ (A) |  |  |  |  |  |  |  |  |

3. **Cerințe suplimentare:** Calculează valoarea rezistenței interne a generatorului folosind datele experimentale obținute, precum și eroarea absolută și eroarea medie. Ce reprezintă intersecțiile graficului cu axele?

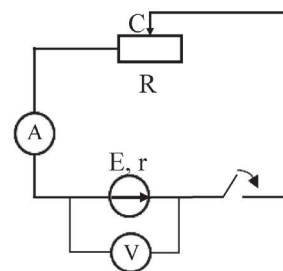


Figura II.38



## Activități de învățare și de autoevaluare

1. Un voltmetru conectat la bornele unui rezistor aflat într-un circuit electric indică o tensiune  $U = 118$  V. Tensiunea electromotoare a generatorului este  $E = 120$  V, iar rezistența internă a acestuia are valoarea  $r = 50 \Omega$ . Ce rezistență are rezistorul?

2. Rezistența internă a unui generator este  $r = 1 \Omega$ . Când la bornele generatorului se conectează un rezistor cu rezistența  $R = 7 \Omega$ , curentul din circuit are intensitatea  $I = 1,5$  A. Cât este t.e.m. a generatorului?

3. Un generator cu t.e.m.  $E = 1,5$  V este închis printr-un rezistor cu  $R = 3 \Omega$ . Circuitul este străbătut de un curent  $I = 0,15$  A. Află curentul de scurtcircuit.

4. În graficul din figura II.39 este reprezentată dependența intensității curentului de tensiunea la bornele unui generator.

Află: a) t.e.m. a generatorului; b) intensitatea curentului la scurtcircuit; c) rezistența internă a generatorului; d) rezistența exterioară a circuitului în momentul în care intensitatea curentului din circuit este  $I = 3$  A.

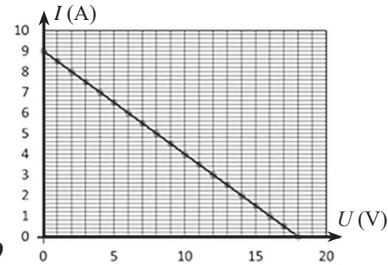


Figura II.39

### II.2.8. Gruparea rezistoarelor

Ai învățat în clasa a VI-a despre gruparea în serie și în paralel a becurilor. Reamintește-ți experimentele din lecția despre tensiunea electrică și intensitatea curentului. Circuitele electrice complexe conțin mai mulți consumatori (becuri, rezistori etc.) care pot fi conectați în diferite moduri: în serie, în paralel sau mixt.

În cele ce urmează, vei folosi informațiile învățate pentru a înțelege cum se utilizează legea lui Ohm la calcularea rezistenței rezistorilor conectați în serie și în paralel. Dacă o porțiune de circuit conține mai multe rezistoare care respectă legea lui Ohm, atunci gruparea respectivă poate fi înlocuită cu un singur rezistor, numit **rezistor echivalent**, astfel încât restul circuitului să nu fie perturbat de această modificare.



#### Definiție

Un rezistor este echivalent unei grupări de rezistoare atunci când, la aplicarea aceleiași tensiuni la bornele rezistorului echivalent ca și la bornele grupării, rezistorul este parcurs de un curent cu aceeași intensitate ca și gruparea de rezistoare.

#### 1. Gruparea în serie



#### Reține!

Două sau mai multe rezistoare sunt conectate în serie dacă prin ele trece același curent.

Știm că la conectarea în serie (figura II.40) a doi sau mai mulți consumatori tensiunea totală este egală cu suma tensiunilor de pe fiecare porțiune de circuit, astfel încât putem scrie că:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (\text{II.22})$$

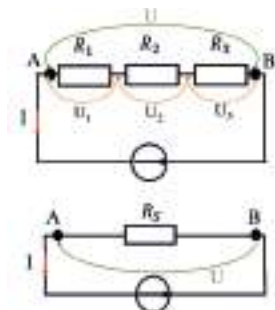
Înlocuind tensiunile din legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit, relația II.22 devine:

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3 \quad (\text{II.23})$$

Rezistorul echivalent este parcurs de același curent dacă i se aplică aceeași tensiune, prin urmare:

$$U = IR_s \quad (\text{II.24})$$

Egalând relațiile (II.23) și (II.24) și simplificând prin  $I$ , obținem:  $R_s = R_1 + R_2 + R_3$



Gruparea în serie  
Figura II.40



#### Reține!

La gruparea în serie a mai multor rezistoare, rezistența rezistorului echivalent (rezistența echivalentă) este egală cu suma rezistențelor tuturor rezistorilor:  $R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n$  (II.25)



### Observație

Rezistența echivalentă,  $R_s$ , este totdeauna mai mare decât oricare dintre rezistențele grupării.

Pentru  $n$  rezistențe identice,  $R$ , relația II.25 se poate scrie:

$$R_s = nR \quad (\text{II.26})$$

### 2. Gruparea în paralel

Două sau mai multe rezistoare sunt grupate în paralel dacă sunt conectate aceleași borne împreună (fig. II.41).



### Reține!

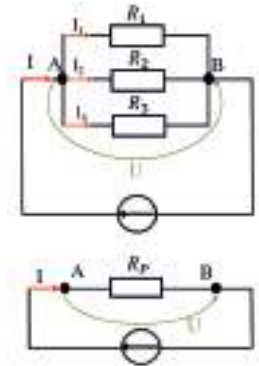
Rezistoarele grupate în paralel au aceeași tensiune la borne.

Știm că la conectarea în paralel a doi sau mai mulți consumatori, intensitatea curentului pe porțiunea neramificată este egală cu suma intensităților curenților din ramuri. Prin urmare, putem scrie:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (\text{II.27})$$

Înlocuind intensitățile din legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit, relația II.27 devine:

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \quad (\text{II.28})$$



Gruparea în paralel  
**Figura II.41**

Rezistorul echivalent este parcurs de același curent dacă i se aplică aceeași tensiune, prin urmare:

$$I = \frac{U}{R_p} \quad (\text{II.29})$$

Egalând relațiile (II.28) și (II.29) și simplificând prin  $U$ , obținem:

$$\frac{I}{R_p} = \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2} + \frac{I}{R_3}$$



### Reține!

La gruparea în paralel a mai multor rezistoare, inversul rezistenței rezistorului echivalent este egal cu suma inverselor rezistențelor rezistorilor care se grupează:

$$\frac{I}{R_p} = \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2} + \dots + \frac{I}{R_n} \quad (\text{II.30})$$



### Observație

Rezistența echivalentă,  $R_p$ , este totdeauna mai mică decât oricare dintre rezistențele grupării.

Pentru  $n$  rezistențe identice,  $R$ , relația II.30 se poate scrie:

$$R_p = \frac{R}{n} \quad (\text{II.31})$$

Pentru două rezistoare,  $R_1$  și  $R_2$ , conectate în paralel, este comod să se calculeze rezistența echivalentă, folosind relația:

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{II.32})$$

✓ **Problemă rezolvată**

Trei rezistori identici de rezistență  $R_1 = R_2 = R_3 = 6 \, \Omega$  sunt conectați la o sursă de tensiune ca în figura II.42.

Găsește rezistența echivalentă a circuitului.

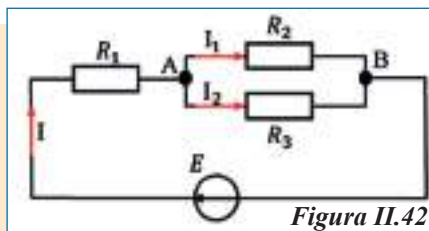
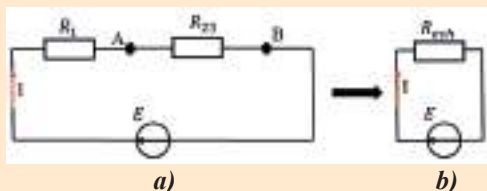


Figura II.42

**Rezolvare**



$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \rightarrow R_{23} = \frac{36}{12} = 3 \, \Omega$$

$$R_{ech} = R_1 + R_{23} \rightarrow R_{ech} = 6 + 3 = 9 \, \Omega.$$

**Indicații de rezolvare**

Identifică grupările în serie și în paralel;  
În figura II.42, observă că rezistențele  $R_2$  și  $R_3$  sunt conectate în paralel;

Înlocuiește gruparea în paralel prin rezistorul echivalent  $R_{23}$  (figura a).

Aplică formula II.32 pentru a calcula  $R_{23}$ ;  
Înlocuiește gruparea în serie formată din  $R_1$  și  $R_{23}$  cu rezistorul echivalent,  $R_{ech}$  (figura b).

Aplică formulele II.32 și II.25 pentru a calcula rezistențele echivalente.



**Activități de învățare și de autoevaluare**

1. Răspunde la următoarele întrebări:

- Cum sunt conectate becurile din locuința ta, în serie sau în paralel?
- Cum sunt montate becurile într-o instalație de pom de Crăciun? Cum poți verifica?

2. Patru rezistoare au rezistențele de valori:  $R_1 = R_2 = 20 \, \Omega$ ,  $R_3 = 30 \, \Omega$  și  $R_4 = 10 \, \Omega$ . Rezistoarele sunt conectate ca în figura II.43. Calculează valoarea rezistenței echivalente pentru fiecare situație prezentată.

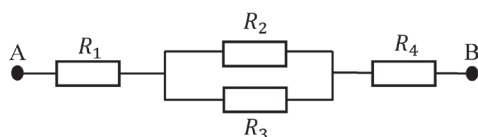


Figura II.43 a)

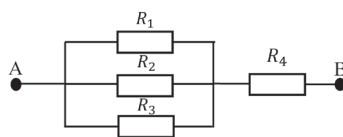


Figura II.43 b)

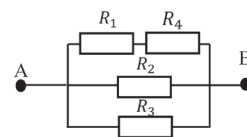


Figura II.43 c)

3. Cum pot fi grupate 4 rezistoare de rezistențe identice,  $R$ , astfel încât rezistența echivalentă să fie tot  $R$ ?

**II.2.9. Extindere: Teoremele lui Kirchhoff**

În general, circuitele electrice conțin un număr mare de elemente (generatoare și consumatoare), ceea ce implică un număr mare de ramificații. Astfel de circuite nu pot fi reduse întotdeauna la combinații simple de grupări în serie și în paralel. Pentru astfel de circuite complexe, fizicianul german Gustav Robert Kirchhoff a descoperit două legi care pot fi utilizate la rezolvarea rețelelor de curent continuu, adică pentru aflarea intensităților curenților electrice care circulă în fiecare ramură a rețelei.

**Scurt istoric:** Gustav Robert Kirchhoff s-a născut la 12 martie 1824 în Königsberg, Prusia (acum Kaliningrad, Rusia). În 1845, Kirchhoff a comunicat prima dată două legi (cunoscute astăzi ca legile lui Kirchhoff), care permit calcularea curenților, tensiunilor și rezistențelor din circuitele electrice cu ramificații complexe (rețele electrice). A demonstrat că, printr-un conductor, curentul electric circulă cu viteza luminii.



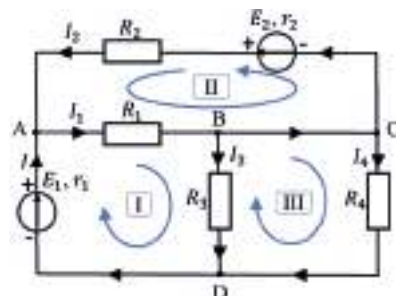


## Definiție

Un circuit cu cel puțin două ramificații se numește **rețea electrică**.

În figura II.44. este prezentată o rețea electrică.

O rețea electrică cuprinde următoarele elemente de structură:  
**nod**, **latură** sau **ramură** și **ochi** sau **bucă**.



Rețea electrică  
Figura II.44

| Element                               | Definiție   | Exemple   |
|---------------------------------------|---|---|
| <b>NOD</b>                            | Punct al unui circuit în care se întâlnesc cel puțin trei conductori.   | A, B, C, D<br>Dacă conductoarele au rezistențe neglijabile, atunci B și C pot fi considerate un singur nod! |
| <b>LATURĂ</b><br>sau<br><b>RAMURĂ</b> | Porțiunea cuprinsă între două noduri, care nu cuprinde niciun nod în interior și care este parcursă de același curent.  | AB, BC, BD, CD, AC, DA  |
| <b>OCHI</b><br>sau<br><b>BUCLĂ</b>    | Porțiune de circuit formată dintr-o succesiune de laturi (cel puțin două) care formează un contur poligonal închis, la parcurgerea căreia se trece prin fiecare nod o singură dată. | I, II, III  |

Legea I a lui Kirchhoff se referă la nodurile de rețea.

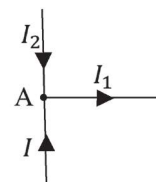


## Enunț

**Legea I a lui Kirchhoff.** Suma intensităților curenților care intră într-un nod de rețea este egală cu suma intensităților curenților care ies din nodul respectiv.

**Exemplu:** În nodul de rețea, A, din figura II.45, se întâlnesc 3 conductori. Prin urmare, legea I a lui Kirchhoff se scrie:

$$I + I_2 = I_1 \quad (\text{II.33})$$



Nod de rețea  
Figura II.45



## Activități de învățare și de autoevaluare

Aplică legea I a lui Kirchhoff pentru nodurile B, C și D din figura II.44.

Relația II.33 se mai poate scrie sub forma:

$$I + I_2 - I_1 = 0 \quad (\text{II.34})$$

În această relație, expresia din membrul stâng este o relație algebrică care conține, cu semnul „+”, curenții care intră în nod, iar cu semnul „-”, curenții care ies din nod.



## Reține!

**Convenție de semn pentru nodul de rețea.** Intensitățile curenților care intră în nod se iau cu semnul „+”, iar intensitățile curenților care ies din nod se iau cu semnul „-”.



Curenții prin fiecare latură a unui circuit electric transportă, într-un anumit interval de timp, sarcini electrice. Știi că sarcina electrică dintr-un circuit nu poate fi creată, nu dispare și nici nu se acumulează în diferite puncte ale circuitului, adică, sarcina electrică se conservă. Ca urmare a legii conservării sarcinii electrice, sarcina totală care iese dintr-un nod de rețea este egală cu sarcina totală care intră în acel nod în unitatea de timp.



### Observație

Legea I a lui Kirchhoff exprimă legea conservării sarcinii electrice într-un nod. Legea I a lui Kirchhoff poate fi enunțată și sub forma: **Suma algebrică a intensităților curenților într-un nod de rețea este zero.** Dacă într-o rețea numărul de noduri este  $n$ , aplicând legea I a lui Kirchhoff se scriu  $n - 1$  ecuații.

Legea a II-a a lui Kirchhoff se referă la ochiurile de rețea.



### Enunț

**Legea a II-a lui Kirchhoff.** Suma algebrică a tensiunilor electromotoare dintr-un ochi de rețea este egală cu suma algebrică a tensiunilor de pe laturile ochiului.

Pentru aplicarea celei de-a doua legi a lui Kirchhoff, trebuie stabilite semnele termenilor din cele două sume algebrice. În acest sens, se alege, **în mod arbitrar**, pentru fiecare ochi de rețea, un **sens de parcurgere** a ochiului. Acest sens se alege astfel încât să coincidă cu sensul cât mai multor curenți din laturile ochiului.



### Reține!

#### Convenții de semn pentru ochiul de rețea

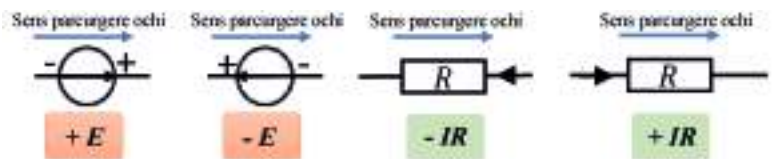
- Tensiunea la bornele unui consumator este „+”, dacă sensul intensității curentului prin consumator coincide cu sensul de parcurgere ales. În caz contrar, semnul tensiunii la bornele consumatorului este „-”.
- Semnul tensiunii electromotoare a unei surse este „+”, dacă sensul de parcurgere ales străbate sursa de la „-” la „+”. În caz contrar, semnul tensiunii electromotoare este „-”.

Urmărește imaginile din figura II. 46 pentru a înțelege modul de stabilire a semnelor termenilor dintr-un ochi de rețea.

**Exemplu:** În figura II.44 ai identificat 3 ochiuri de rețea.

Pentru ochiul (I), legea a II-a a lui Kirchhoff se aplică astfel:

$$E_1 = I r_1 + I_1 R_1 + I_3 R_3 \quad (\text{II.35})$$



Convenția de semn utilizată pentru un ochi de rețea la aplicarea legii a II-a a lui Kirchhoff

Figura II.46



### Activități de învățare și de autoevaluare

Aplică legea a II-a lui Kirchhoff pentru ochiurile (II) și (III) din figura II.44.



### Reține!

Legile lui Kirchhoff se folosesc pentru aflarea intensităților curenților prin laturile rețelei.

Notând cu  $\ell$  numărul laturilor unei rețele, atunci numărul total de ecuații care se scriu prin aplicarea legilor lui Kirchhoff este  $\ell$ . Numărul de ecuații care se scriu prin aplicarea celei de-a doua legi a lui Kirchhoff este:  $\ell - (n - 1)$ . (II.36)

## Reguli de aplicare a legilor lui Kirchhoff

Înainte de a scrie legile lui Kirchhoff trebuie să:

- 1. Identifici:** • Nodurile rețelei; • Laturile și să alegi, în mod arbitrar, sensul curenților prin fiecare latură; • Ochiurile rețelei și să alegi, în mod arbitrar, un sens de parcurgere a ochiului de rețea.
- 2. Aplici** legea I pentru  $n - 1$  noduri, ținând cont de convenția de semn aplicabilă în nod.
- 3. Aplici** legea a II-a pentru ochiurile alese, ținând cont de convenția de semn aplicabilă în ochi.
- 4. Formezi sistemul de ecuații.** Acesta conține  $\ell$  ecuații, egal cu numărul de laturi identificate, deci egal cu numărul necunoscutelor (intensitățile curenților).

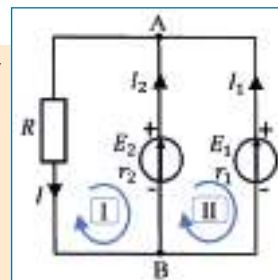
### ☑ Problemă rezolvată

În rețeaua din figura II.47 se cunosc:

$$E_1 = 8 \text{ V}, E_2 = 48 \text{ V}, r_1 = 3 \Omega, r_2 = 2 \Omega, R = 2 \Omega.$$

Determină intensitățile curenților prin laturile rețelei și tensiunea  $U_{AB}$  între punctele A și B.

Figura II.47



| Rezolvare  | Indicații de rezolvare  |
|--|---|
| $\left. \begin{array}{l} \text{(A): } I = I_1 + I_2 \\ \text{(I): } -E_2 = -I_2 r_2 - IR \\ \text{(II): } -E_1 + E_2 = -I_1 r_1 + I_2 r_2 \\ I = I_1 + I_2 \\ 48 = 2I_2 + 2I \Rightarrow 24 = I_2 + I \\ 40 = -3I_1 + 2I_2 \end{array} \right\} \Rightarrow$ $\left. \begin{array}{l} I_1 = -4 \text{ A}; I_2 = 14 \text{ A}; I = 10 \text{ A}; \\ U_{AB} = RI \rightarrow U_{AB} = 20 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow$ | <p>Identifică elementele rețelei:<br/>2 noduri, 2 ochiuri și 3 laturi.</p> <p>Alege sensul de parcurgere a ochiurilor.</p> <p>Aplică legea I pentru un nod, de exemplu nodul A, ținând cont de convenția de semn.</p> <p>Aplică legea a II-a pentru ochiuri, ținând cont de convenția de semn.</p> <p>Rezolvă sistemul de ecuații, înlocuind datele numerice cunoscute.</p> |



## Activități de învățare și de autoevaluare

1. În figura II.48, cifrele indică valorile intensităților curenților electrici prin laturile corespunzătoare, măsurate în mA, iar săgețile indică sensurile curenților. Află intensitatea  $I$  a curentului electric care intră în nodul A.
2. Schema unei porțiuni de circuit arată ca în figura II.49. Se cunosc intensitățile curenților:  $I_1 = 1 \text{ A}$ ,  $I_2 = 9 \text{ A}$ ,  $I_4 = 5 \text{ A}$ . Află intensitatea curentului  $I_5$ .
3. Află valorile mărimilor necunoscute din rețelele din figura II.50 a) și b).
4. Află intensitatea curentului electric ce trece prin conductorul  $ab$  din figura II.51. Se consideră cunoscute mărimile înscrise pe figură ( $R$  și  $E$ ), iar rezistența conductorului  $ab$ , a firelor de legătură și a sursei sunt neglijabile.

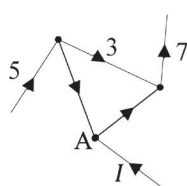


Figura II.48

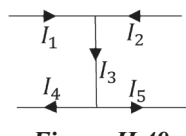


Figura II.49

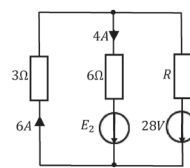


Figura II.50 a)

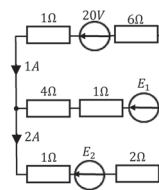


Figura II.50 b)

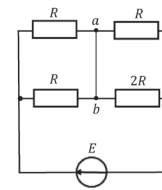
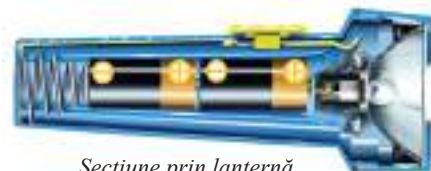


Figura II.51

### II.2.10. Gruparea generatoarelor identice (studiu experimental)

Ai observat că unele lanterne, pentru a putea funcționa, au nevoie de minimum 2 baterii de 1,5 V conectate în serie? Urmărește imaginea din figura II.52 pentru a înțelege modul de conectare în serie al bateriilor unei lanterne. În cele ce urmează, vom aplica noțiunile învățate în lecțiile anterioare pentru a înțelege modul de conectare al generatoarelor electrice în circuite.



Secțiune prin lanternă

Figura II.52

#### Gruparea în serie



#### Definiție

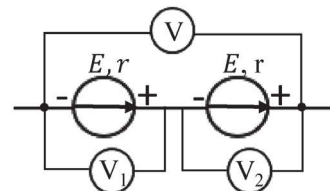
Două sau mai multe generatoare sunt conectate în serie dacă borna pozitivă a unui generator este legată de borna negativă a generatorului următor.



#### Activitate experimentală

Ai la dispoziție 2 baterii de 1,5 V, 3 multimetre și conductoare de legătură.

- Montează circuitul conform schemei din figura II.53.
- Citește indicațiile celor 3 voltmetre.
- Formulează o concluzie cu privire la tensiunea indicată de voltmetrul V și de celelalte două voltmetre.



Gruparea în serie a generatoarelor

Figura II.53



#### Concluzie

Tensiunea indicată de voltmetrul V este egală cu suma tensiunilor indicate de voltmetrele  $V_1$  și  $V_2$ .



#### Reține!

O grupare de  $n$  generatoare electrice identice, având fiecare t.e.m.  $E$  și rezistența internă  $r$ , conectate în serie, este echivalentă cu un generator, numit **generator echivalent serie**, caracterizat de t.e.m.  $E_s = nE$  și rezistența internă  $r_s = nr$ .

În figura II.54. este reprezentată schema unui circuit electric care conține o grupare de  $n$  generatoare identice legate în serie, fiecare generator fiind caracterizat de t.e.m.  $E$  și rezistența internă  $r$ .

Intensitatea curentului prin circuit se poate determina aplicând legea a II-a a lui Kirchhoff:  $nE = nrI + RI$ .

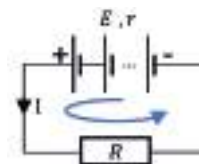


Figura II.54



#### Reține!

Intensitatea curentului printr-un circuit care conține  $n$  generatoare identice grupate în serie este:

$$I = \frac{nE}{R + nr} \quad (\text{II.37})$$



### Observație

Gruparea în serie a generatoarelor se utilizează pentru a obține la bornele rezistenței o tensiune mai mare:

$$U = R I = n(E - Ir).$$

### Gruparea în paralel



### Definiție

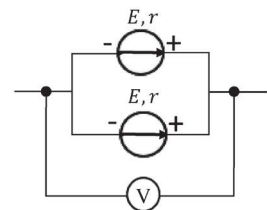
Două sau mai multe generatoare sunt conectate în paralel dacă bornele de același semn se leagă împreună, adică toate bornele pozitive se leagă la un nod și toate bornele negative se leagă la alt nod.



### Activitate experimentală

Ai la dispoziție 2 baterii de 1,5 V, 1 multimetru, conductoare de legătură.

- Montează circuitul conform schemei din figura II.55.
- Citește indicațiile voltmetrului, conectat succesiv la bornele fiecărei baterii și la bornele grupării.
- Formulează o concluzie cu privire la tensiunile indicate de voltmetru în cele trei situații.



Gruparea în paralel a generatoarelor  
**Figura II.55**



### Concluzie

Tensiunea indicată de voltmetrul V este aceeași, indiferent dacă este conectat la bornele grupării sau la fiecare generator în parte.



### Reține!

O grupare de  $n$  generatoare electrice identice, având fiecare t.e.m.  $E$  și rezistența internă  $r$ , conectate în paralel, este echivalentă cu un generator, numit **generator echivalent paralel**, caracterizat de t.e.m.

$$E_p = E, \text{ și rezistența internă } r_p = \frac{r}{n}.$$



În figura II.56 este reprezentată schema unui circuit electric care conține o grupare de  $n$  generatoare identice, legate în paralel, fiecare generator fiind caracterizat de t.e.m.  $E$  și rezistența internă  $r$ .

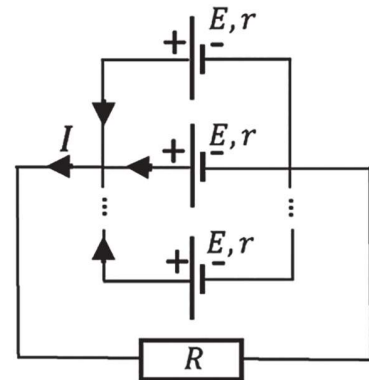
Intensitatea curentului prin circuit se poate determina aplicând legile lui Kirchhoff.



### Reține!

Intensitatea curentului printr-un circuit care conține  $n$  generatoare identice grupate în paralel este:

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} \quad (\text{II.38})$$



**Figura II.56**



### Observație

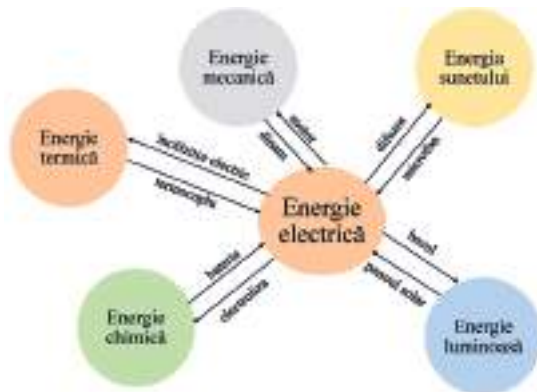
Gruparea în paralel a generatoarelor electrice se utilizează pentru a obține prin rezistența  $R$  o intensitate mai mare decât s-ar obține în cazul utilizării unui singur generator.

### II.2.11. Energia și puterea electrică. Legea lui Joule

Energia electrică necesară funcționării diversilor consumatori le este transmisă acestora prin intermediul sarcinilor electrice în mișcare. Conductoarele de legătură, toate aparatele electrice din locuință, consumatorii industriali, mașinile electrice etc. utilizează energie electrică.

La fel cum zahărul este vândut la kilogram și motorina la litru, energia electrică este vândută la „unitatea de energie electrică”.

Ai învățat în lecțiile anterioare că generatorul electric are rolul de a transforma o energie primară în energie electrică. De asemenea, în clasa a VII-a ai studiat legea conservării energiei și ai înțeles că energia se transformă dintr-o formă în alta. Urmărește diagrama din figura II.57 pentru a înțelege conversia energiei electrice în alte forme de energie și invers.



Conservarea energiei

Figura II.57

Ai observat că, atunci când funcționează, adică sunt parcurse de curentul electric, aparatele electrice (uscătorul de păr, un încălzitor, becul cu incandescență, conductorii folosiți în activitățile experimentale anterioare etc.) se încălzesc.

### Energia electrică



### Activitate experimentală

Ai la dispoziție un generator electric, conductoare de legătură, fir metalic de crom-nichel sau manganină, sub formă de spirală.

- Realizează circuitul electric din figura II.58.
- Închide întrerupătorul și urmărește ce se întâmplă cu firul prin care trece curentul electric. *Atenție! Nu atinge cu mâna firul care se înroșește!*
- Repetă experimentul inversând sensul curentului prin fir.

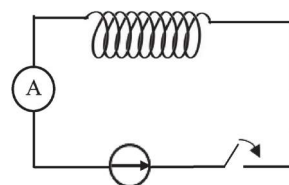


Figura II.58



### Concluzie

La trecerea curentului electric prin conductor, culoarea acestuia se schimbă în roșu sau portocaliu, iar aerul din apropierea lui se încălzește. Aceasta arată că temperatura firului a crescut ca urmare a trecerii curentului electric. Încălzirea conductorului nu depinde de sensul curentului electric.



### Definiție

Încălzirea conductoarelor ca urmare a trecerii curentului electric prin ele se numește *efect termic* al curentului electric sau *efect Joule*.

**Scurt istoric:** James Prescott Joule s-a născut la 24 decembrie 1818, în Salford, Anglia. A fost un fizician englez care a stabilit că energia mecanică, energia electrică și căldura sunt echivalente și pot fi transformate din una în alta. Astfel, el a pus bazele formulării legii conservării energiei. În 1840 a publicat lucrarea „Producerea căldurii prin electricitate voltaică”, în care arată cum căldura produsă într-un fir la trecerea unui curent electric este proporțională cu produsul dintre rezistența conductorului și pătratul intensității curentului („Legea lui Joule”). Unitatea de măsură pentru energie a fost numită „joule” ca o recunoaștere a importanței contribuțiilor aduse de James Joule la dezvoltarea fizicii.



Ai învățat în lecțiile anterioare că tensiunea electromotoare a unei surse,  $E$ , este dată de relația (II.7):

$$E = \frac{L_t}{q},$$

unde  $L_t$  este lucrul mecanic total efectuat de generator pentru a deplasa sarcina electrică  $q$  prin întregul circuit. De asemenea, știi că sarcina electrică  $q$  se poate deduce din relația (II.4),  $q = I\Delta t$ .

Pentru deplasarea sarcinii electrice în circuit (figura II.59), se efectuează un lucru mecanic care este transferat consumatorului sub formă de energie electrică:  $L_t = W_t$ .

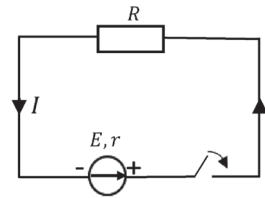


Figura II.59



### Reține!

**Energia electrică furnizată întregului circuit** este:

$$W_t = E \cdot I \cdot \Delta t \quad (\text{II.39})$$

Ținând cont de legea lui Ohm pentru întregul circuit, înlocuind fie  $E$ , fie  $I$ , relația (II.39) se mai poate scrie:

$$W_t = (U + u) \cdot I \cdot \Delta t = (R + r) \cdot I^2 \cdot \Delta t = \frac{E^2}{R + r} \Delta t \quad (\text{II.40})$$

Din relația (II.40), se constată că:  $W_t = (U + u) \cdot I \cdot \Delta t = U \cdot I \cdot \Delta t + u \cdot I \cdot \Delta t = W_{ext} + W_{int}$ , unde  $W_{int}$  reprezintă **energia disipată în interiorul generatorului**, iar  $W_{ext}$  este **energia consumată în circuitul exterior**.



### Reține!

Energia electrică consumată în circuitul exterior este:  $W_{ext} = U \cdot I \cdot \Delta t \quad (\text{II.41})$

Energia electrică disipată în interiorul generatorului este:  $W_{int} = u \cdot I \cdot \Delta t \quad (\text{II.42})$

Aplicând legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit și înlocuind fie  $U$  sau  $u$ , fie  $I$ , relația (II.41) se mai poate scrie:

$$W_{ext} = R \cdot I^2 \cdot \Delta t = \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t \quad (\text{II.43})$$

$$W_{int} = r \cdot I^2 \cdot \Delta t = \frac{u^2}{r} \cdot \Delta t \quad (\text{II.44})$$

Relația (II.43),  $W_{ext} = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$ , a fost pusă în evidență experimental de către James Joule și este cunoscută sub denumirea de legea lui Joule.

Astfel, într-un circuit în care consumatorul este un rezistor de rezistență  $R$ , energia electrică primită de acesta se disipează sub formă de căldură. Conform legii conservării energiei, căldura,  $Q$ , disipată de consumator, este egală cu energia primită,  $W_{ext}$ .





## Enunț

**Legea lui Joule:** Căldura degajată la trecerea curentului electric printr-un conductor este direct proporțională cu pătratul intensității curentului care străbate conductorul, cu rezistența conductorului și intervalul de timp cât curentul electric străbate conductorul.

$$Q = R \cdot I^2 \cdot \Delta t \quad (\text{II.45})$$

Aplicațiile legii lui Joule sunt: plita electrică, becul electric, fierbătorul, uscătorul de păr etc.



## Observație

Efectul termic al curentului electric poate avea și aspecte distructive, ca de exemplu, deteriorarea unor componente ale aparatelor din cauza încălzirii excesive a acestora.



## Activitate experimentală

**Observarea dependenței căldurii degajate de intensitatea curentului și de rezistența electrică**

### • Materiale necesare:

► sursă de tensiune, rezistor (încălzitor), reostat, întrerupător, conductori de legătură, multimetru, calorimetru, termometru, cronometru, balanță.

### • Teoria lucrării:

Căldura degajată la trecerea curentului electric printr-un conductor metalic parcurs de curent este dată de relația (II.45),  $Q = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$ . Plasând încălzitorul într-un calorimetru în care se află o masă de apă,  $m$ , acesta va ceda căldura  $Q_{ced}$ , iar apa va primi căldura  $Q_{prim} = m \cdot c_{apă} \cdot \Delta T$ , înregistrându-se creșterea temperaturii apei cu  $\Delta\theta = (\theta_{fin} - \theta_{in})$ . Din ecuația calorimetrică,  $Q_{prim} = |Q_{ced}|$ , neglijând capacitatea calorică a calorimetruului, obținem:  $R \cdot I^2 \cdot \Delta t = m \cdot c_{apă} \cdot \Delta\theta$ , unde  $c_{apă} = 4180 \text{ J/kgK}$ .

Legea lui Joule afirmă că, dacă menținem  $R$ ,  $\Delta t$ ,  $c_{apă}$  și  $m$  constante, atunci variația temperaturii observată în experiment trebuie să fie proporțională cu pătratul intensității curentului electric.

### • Mod de lucru:

1. Măsoară cantitatea de apă  $m$  din calorimetru și temperatura inițială a acesteia,  $\theta_{in}$ .
2. Setează multimetrul ca ohmmetru, conectează-l în paralel la rezistor și măsoară rezistența  $R$  a acestuia (rezistorul nu este încă legat în circuit).
3. Realizează montajul conform schemei din figura II.60, în care multimetrul este setat ca ampermetru.
4. Plasează încălzitorul în apă (nu atinge pereții calorimetruului); închide circuitul; pornește cronometrul.
5. Cu ajutorul reostatului, menține constantă intensitatea curentului pe parcursul a câtorva minute.
6. Notează valoarea  $\theta_{fin}$  după un interval de timp stabilit, de exemplu,  $\Delta t = 5 \text{ min}$ .
7. Alege o nouă valoare a lui  $I$  și reia experimentul.
8. Fă cel puțin cinci determinări succesive cu valori diferite ale intensității curentului, folosind de fiecare dată aceeași cantitate de apă și același interval de timp.
9. Trece datele obținute în tabelul de date.
10. Reprezintă grafic variația temperaturii apei în funcție de pătratul intensității curentului,  $I^2$ . Dacă graficul obținut este un segment de dreaptă, atunci se verifică legea lui Joule.

### • Tabel de date:

| $\theta_{in} (^{\circ}\text{C})$ | $\theta_{fin} (^{\circ}\text{C})$ | $\theta_{fin} - \theta_{in} (^{\circ}\text{C})$ | $I^2 (\text{A}^2)$ |
|----------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------|
|                                  |                                   |   |                    |

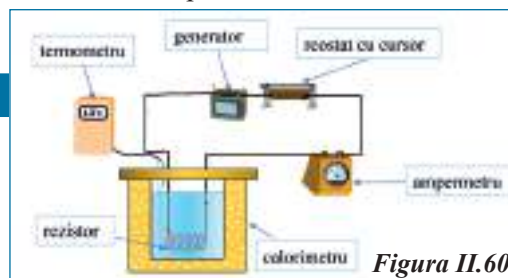


Figura II.60



### Activități de învățare și de autoevaluare

1. Un ciocan de lipit are rezistența de  $400 \Omega$  și funcționează la o tensiune de 220 V. Calculează căldura degajată de ciocan în timp de 10 min.
2. Un reșou electric, care funcționează normal la o tensiune de 220 V și o intensitate a curentului de 4 A, a degajat o cantitate de căldură de 800 kJ. Cât timp a funcționat reșoul?

### Puterea electrică

Ai observat că pe toate aparatele electrice (bec, fier de călcat, uscător de păr etc.), figura II.61, sunt înscrise o serie de caracteristici de funcționare: tensiunea electrică la care funcționează și puterea electrică consumată, notată cu  $P$ . De exemplu, uscătorul de păr funcționează la o tensiune între 220 și 230 V și are puterea de 400 W (watt), iar becul are puterea de 7,5 W.



Figura II.61



### Activitate experimentală

- **Materiale necesare:**
  - generator electric, becuri de 12 V cu puteri diferite (7 W, 12 W) montate pe suporturi, fire de legătură.
- **Mod de lucru:** Montează becurile în paralel și observă care dintre acestea luminează mai intens.



### Concluzie

Un bec, alimentat la tensiunea nominală, luminează mai puternic dacă are o putere electrică mai mare.



### Definiție

Puterea electrică este mărimea fizică egală cu viteza de transfer a energiei electrice:

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad (\text{II.46})$$

Unitatea de măsură pentru puterea electrică este:  $[P]_{\text{SI}} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W (watt)}$

Ținând cont de noțiunile învățate la energia electrică, obținem expresiile puterilor într-un circuit.



### Reține!

Puterea electrică a generatorului:

$$P_t = E \cdot I = (R + r) \cdot I^2 = \frac{E^2}{R + r} \quad (\text{II.47})$$

Puterea consumată în circuitul exterior:

$$P_{\text{ext}} = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} \quad (\text{II.48})$$

Puterea disipată în interiorul generatorului:

$$P_{\text{int}} = u \cdot I = r \cdot I^2 = \frac{u^2}{r} \quad (\text{II.49})$$



### Observație

Puterea electrică este o mărime fizică prin care se caracterizează atât consumatorii, cât și generatoarele. Relația  $P_t = P_{ext} + P_{int}$  (II.50) reprezintă **bilanțul puterilor** în circuitul electric.

O unitate de măsură pentru energia electrică, utilizată în practică, este kilowatul-oră:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} \quad (\text{II.51})$$



### Activitate experimentală

#### Determinarea puterii unui bec în condiții normale de funcționare

• **Material necesare:** sursă de tensiune stabilizată, bec cu tensiunea nominală de 6,3 V montat pe suport, fire de legătură, reostat, 2 multimetre.

• **Mod de lucru:**

1. Realizează circuitul a cărui schemă este prezentată în figura II.62.
2. Cu ajutorul reostatului, modifică rezistența circuitului; prin urmare, se va modifica și intensitatea curentului din circuit până când tensiunea indicată de voltmetru este de 6,3 V.
3. Citește valoarea intensității curentului.
4. Calculează puterea becului, făcând produsul dintre tensiunea și intensitatea curentului.
5. Reia experimentul de cel puțin 3 ori.
6. Introdu datele în tabelul de date și efectuează calculul erorilor.

• **Tabel de date:**

| Nr. det. | $U$ (V) | $I$ (mA) | $P$ (mW) | $\bar{P}$ (mW) | $\Delta P$ (mW) | $\Delta \bar{P}$ (mW) |
|----------|---------|----------|----------|----------------|-----------------|-----------------------|
|          |         |          |          |                |                 |                       |

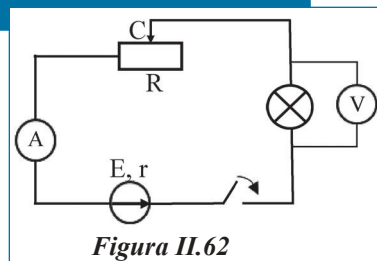


Figura II.62

#### ☑ Problemă rezolvată

Un generator electric având t.e.m.  $E = 12 \text{ V}$  și  $r = 1 \Omega$  furnizează circuitului exterior puterea  $P = 20 \text{ W}$ . Calculează: a) tensiunea la bornele sursei; b) rezistența circuitului exterior corespunzătoare acestei tensiuni.

#### Rezolvare

$$E = U + u = U + I r \text{ și } P = U \cdot I \Rightarrow$$

$$E = U + \frac{P}{U} r, U^2 - EU + Pr = 0 \text{ (ecuație de gradul II în } U \text{)}$$

cu soluțiile:  $U_{1,2} = \frac{E \pm \sqrt{E^2 - 4Pr}}{2}$

Înlocuim datele numerice și obținem două soluții:

$$U_1 = 10 \text{ V și } U_2 = 2 \text{ V.}$$

Scriem puterea sub forma,  $P = U \cdot I = \frac{U^2}{R}$ , de unde rezultă:

$$R = \frac{U^2}{P}.$$

Înlocuim datele numerice și avem:  $R_1 = 10 \Omega$  și  $R_2 = 0,2 \Omega$ .

#### Indicații de rezolvare

Scrie bilanțul tensiunilor în circuit și puterea în circuitul exterior.  
Înlocuiește  $I$  din expresia puterii în prima relație, formează ecuația de gradul al II-lea cu necunoscuta  $U$ .  
Rezolvă ecuația și vei obține două soluții reale ale acesteia, prin urmare vei avea două valori posibile pentru tensiunea electrică.  
Cu cele două valori ale tensiunii, înlocuind în expresia puterii, vei obține două valori ale rezistenței electrice.



### Activități de învățare și de autoevaluare

1. Pe soclul unui bec electric este scris: 220 V, 40 W. Determină: a) intensitatea curentului ce trece prin bec în condiții normale de funcționare; b) lucrul mecanic efectuat de curentul electric timp de 1 min; rezistența filamentului becului.

2. Pentru confecționarea rezistorului unei plite electrice de putere 600 W, ce funcționează la tensiunea de 120 V, se folosește sârmă de crom-nichel de diametru 0,75 mm. Se cunoaște rezistivitatea sârmei,  $\rho = 100 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$ . Află lungimea sârmei.

### Randamentul circuitului electric simplu

În clasa a VII-a ai învățat despre randamentul mecanic, mărime adimensională, definită ca raportul dintre lucrul mecanic util și lucrul mecanic consumat pentru a produce acel lucru mecanic util. Pentru un circuit electric simplu, poate fi definită mărimea fizică **randament**, asemănător celei definite anterior.



#### Definiție

Randamentul unui circuit electric simplu este mărimea fizică egală cu raportul dintre energia utilă din circuit (energia furnizată consumatorului) și energia electrică totală (energia dată de generator întregului circuit):

$$\eta = \frac{W_{ext}}{W_t} \quad (\text{II.52})$$

Randamentul arată ce fracțiune din energia disponibilă în sistem este utilă.

Înlocuind expresiile pentru  $W_{ext}$  și  $W_t$  în relația (II.52) obținem:

$$\eta = \frac{U}{E} = \frac{R}{R+r} \quad (\text{II.53})$$



#### Observație

Relația II.53 confirmă faptul că randamentul este o mărime subunitară.

Pentru un generator dat, randamentul crește odată cu creșterea rezistenței consumatorului.

Pentru un consumator dat, randamentul crește la micșorarea rezistenței interne a generatorului.

### II.2.12. Extindere: Efectul chimic al curentului electric. Electroliza

Trecerea curentului electric prin conductoare produce o serie de efecte, dintre care amintim efectul termic, despre care ai învățat în lecția anterioară, efectul chimic și efectul magnetic. Ai învățat că, în conductori, purtătorii de sarcină care formează un curent electric sunt electronii care se pot deplasa pe distanțe mari. În substanțe lichide (soluții de săruri), ionii pozitivi și negativi participă la formarea curentului electric.



#### Definiție

Substanțele ale căror soluții în apă sau în alte lichide conduc curentul electric se numesc **electroliti**.



#### Activitate experimentală

Ai la dispoziție un pahar din sticlă (Berzelius), apă distilată sau apă potabilă, o baterie de 9 V, un bec de 3,5 V, 2 electrozi din grafit, cristale de sulfat de cupru ( $\text{CuSO}_4$ ) și permanganat de potasiu ( $\text{KMnO}_4$ ), întrerupător, conductori de legătură. Realizează circuitul din figura II.63.

În circuit deschis, pune în pahar câteva cristale de permanganat de potasiu în apa distilată. Ce observi? Închide acum circuitul. Ce observi? Schimbă între ele bornele generatorului. Ce observi?

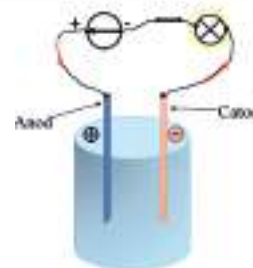


Figura II.63



### Concluzie

În circuit deschis, culoarea violet a permanganatului de potasiu se uniformizează în întreg volumul apei. La închiderea circuitului, colorația violet ( $\text{MnO}_4^-$ ) se deplasează spre electrodul legat la borna pozitivă a generatorului. La inversarea polarității electrozilor din pahar, se schimbă sensul de deplasare a colorației.

Fenomenul observat se explică prin faptul că, în soluția apoasă, sarea de  $\text{KMnO}_4$  se separă în **ioni pozitivi, numiți cationi**,  $\text{K}^+$ , și **ioni negativi, numiți anioni**,  $\text{MnO}_4^-$ . În soluție, ionii negativi  $\text{MnO}_4^-$  determină colorația violet.



### Definiție

Procesul de separare a compușilor ionici, în soluție, în ioni pozitivi și ioni negativi se numește **disociere electrolitică**.



### Activitate experimentală

Reia experimentul anterior, procedând astfel: toarnă apă distilată în pahar, introdu cei doi electrozi și închide circuitul. Ce observi? Deschide întrerupătorul și presară cristale de sulfat de cupru în apă, apoi închide circuitul și așteaptă câteva minute. Ce observi?



### Concluzie

La închiderea circuitului, dacă apa din pahar este distilată sau potabilă, vei constata că becul nu luminează sau luminează foarte slab. În momentul în care adaugi în apă o sare, se constată că becul se aprinde sau luminează puternic, iar după câteva minute, la electrodul negativ, **catod**, s-a depus un strat foarte fin de cupru (roșcat), în timp ce la electrodul pozitiv, **anod**, se degajă bule de gaz. Prin urmare, la închiderea întrerupătorului, ionii capătă o mișcare ordonată, determinând formarea unui curent electric, al cărui efect constă în depunerea de substanță la catod și degajarea de gaz la anod.



### Reține!

Soluțiile apoase ale unor substanțe (săruri, acizi, baze) sunt conductoare. La trecerea curentului prin soluții ale unor săruri metalice au loc depuneri de metale și degajări de gaze la electrozi.

În soluția de  $\text{CuSO}_4$ , se găsesc ioni de  $\text{Cu}^{++}$  și ioni de  $\text{SO}_4^{--}$ . Cât timp circuitul este închis, ionii de  $\text{Cu}^{++}$  se deplasează spre catod, unde primesc doi electroni, se neutralizează și se depun. Ionii de  $\text{SO}_4^{--}$  cedează doi electroni anodului și se transformă în radicali  $\text{SO}_4$ . Acești radicali nu sunt stabili și interacționează cu apa, formând acid sulfuric și oxigen ( $2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2$ ). Acesta se acumulează sub formă de bule de gaz pe suprafața anodului, iar când bulele devin suficient de mari, se ridică la suprafața lichidului și trec în atmosferă.



### Definiție

Procesul de dirijare a ionilor dintr-un electrolit către electrozi și transformarea lor în atomi sau radicali liberi prin neutralizare se numește **electroliză**.

**Scurt istoric.** Fenomenul de electroliză a fost descoperit experimental în anul 1800, de către William Nicholson și Johann Ritter, care au descompus apa în hidrogen și oxigen. În 1833, Michael Faraday a descoperit experimental legile care stau la baza electrolizei și a propus utilizarea termenilor: electroliză, ion, anion, cation, anod și catod.

### Aplicații ale fenomenului de electroliză

Electroliza are foarte multe aplicații practice, importante pentru industrie: electrometalurgia și galvanotehnica. În *electrometalurgie*, electroliza este utilizată în procesul de obținere a unor metale pure, de exemplu zinc, aluminiu, nichel, aur, argint, platină. De asemenea, prin electroliză se realizează purificarea (rafinarea) unor metale (plumbul, fierul, argintul, cuprul).

- *galvanostegia* sau *galvanizarea* este procesul de depunere electrolică a unor straturi anticorozive pe suprafața unor corpuri, în vederea protejării împotriva corodării sau pentru înfrumusețare (zincare, nichelare, argintare, aurire etc.).

Un exemplu concludent de *electroliză* este argintarea sau aurirea unei bijuterii; se face prin montarea acesteia la catod, soluția electrolică conține o sare a metalului cu care se face acoperirea, iar anodul este confecționat din metalul ai cărui ioni se găsesc în soluție (figura II.64).

- *galvanoplastia* este tehnica reproducerii sculpturilor prin confecționarea unor mulaje (tipare) din materiale plastice, care sunt impregnate cu un strat de grafit, pentru a le face conductoare. Mulajul este introdus în soluție ca electrod negativ, electrodul pozitiv este făcut din metalul cu care se face reproducerea, iar soluția conține o sare a aceluși metal.

O altă aplicație practică a electrolizei, utilizată în medicină, este *ionoterapia*, un tip de tratament prin care, prin stimulare electrică, se introduc medicamente prin piele și sunt apoi dirijate spre țesuturile bolnave. Pacientul introduce mâinile și picioarele în vase de porțelan umplute cu anumite soluții. Trecerea curentului prin corp și prin acele soluții transportă ionii sărurilor din soluție în organism.



Depunere electrolică

Figura II.64

### II.2.13. Extindere: Transferul de putere într-un circuit electric simplu de curent de continuu

Considerăm un rezistor de rezistență  $R$ , conectat la bornele unui generator de t.e.m.  $E$  și rezistență internă  $r$ .

Puterea totală dezvoltată de sursă este:  $P_t = E \cdot I = \frac{E^2}{R+r}$  (II.54)

Puterea utilă (transferată circuitului exterior) este:  $P_{ext} = P = U \cdot I = RI^2 = R \cdot \left(\frac{E}{R+r}\right)^2$  (II.55)

Din relația (II.55), se obține o ecuație de gradul al II-lea:

$$P \cdot R^2 + (2Pr - E^2) \cdot R + P \cdot r^2 = 0, \quad (II.56)$$

având necunoscuta  $R$ , și al cărei discriminant,  $\Delta$ , trebuie să fie pozitiv:

$$\Delta = (2Pr - E^2)^2 - 4P^2 \cdot r^2 \geq 0 \quad (II.57)$$

Din această relație rezultă:  $E^2 \geq 4 \cdot P \cdot r \Rightarrow P \leq \frac{E^2}{4r}$

Se observă că **puterea are valoarea maximă**:  $P_{max} = \frac{E^2}{4r}$  (II.58)

Comparând relațiile (II.55) și (II.58), se observă că puterea consumatorului este maximă atunci când  $R = r$ .





### Reține!

Puterea furnizată de un generator electric circuitului exterior este maximă atunci când rezistența circuitului exterior este egală cu rezistența internă a sursei și are valoarea:  $P_{max} = \frac{E^2}{4r}$

Atunci când un generator transferă unui circuit maximul de putere, randamentul circuitului este 50%.



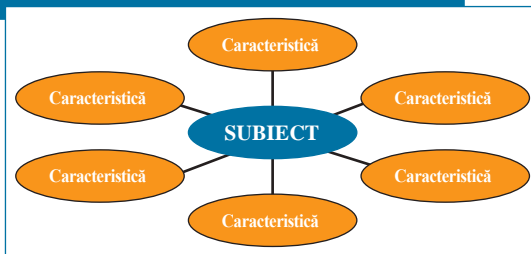
### Activități de învățare și de autoevaluare

O baterie electrică cu t.e.m.  $E = 6$  V furnizează unui circuit un curent maxim  $I_{max} = 3$  A (scurtcircuit). Care este puterea maximă ce poate fi dezvoltată într-un rezistor?



### Activități de evaluare

Realizează o diagramă (schiță) de forma celei din imaginea alăturată în care subiectul să fie: a) Electrizarea. Sarcina electrică; b) Circuitul electric; c) Legile circuitului electric; d) Energia și puterea electrică; e) Efectele curentului electric.



#### Probleme întrebări:

1. Ce se întâmplă atunci când se introduc în priza de curent a rețelei electrice bornele unui ampermetru?
2. Putem atinge fără teamă, în același timp, ambele șine ale unei linii de tramvai, deși prin acestea trece un curent de intensitate foarte mare. De ce nu putem fi electrocuțați?
3. Când consumă mai multă energie un fierbător electric: când se pune apă în el sau când este fără apă?

#### Adevărat sau fals

4. Marchează cu adevărat sau fals următoarele afirmații. Pentru cele care sunt false, reformulează textul astfel încât să fie corect.

- Curentul electric este staționar dacă sensul în care circulă nu se modifică în timp.
- Rezistența unei grupări în paralel a rezistoarelor este egală cu suma valorilor inverse ale rezistențelor acestora.
- Rezistența unei grupări serie a rezistoarelor este mai mică decât oricare dintre rezistențele grupării.

#### Probleme recapitulative

1. O sferă cu masa de 8 g, electrizată cu sarcina de 2 nC, este suspendată în aer de un fir izolator. Află tensiunea în firul de suspensie, dacă în partea de jos a sferei, la distanța de 4 cm, se află pe un suport o altă sferă încărcată cu sarcina de 4  $\mu$ C. Sistemul se află în echilibru. Se cunoaște  $k = 9 \cdot 10^9$  Nm<sup>2</sup>/C<sup>2</sup> și  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>.

2. Pe o porțiune de circuit intensitatea curentului este de 2 A, dacă tensiunea aplicată la capetele porțiunii este de 50 V. Care va fi tensiunea electrică atunci când intensitatea curentului electric care străbate porțiunea este de 1,2 A? Ce rezistență are porțiunea de circuit?

3. După ce în circuitul unei baterii cu t.e.m. de 24 V a fost conectată o sonerie electrică, tensiunea la bornele bateriei a scăzut până la 20 V la o intensitate a curentului de 2 A. La ce valoare a intensității curentului are loc scurtcircuitul?

## II.3. Efectul magnetic al curentului electric

Ai învățat în clasa a VI-a că magnetul este un corp care atrage obiecte din fier, aliaje ale fierului sau metale feroase, precum cobalt, nichel și aliajele lor.

De asemenea, ai învățat că magnetul permanent este acel corp care are proprietăți magnetice stabile în timp, în mod natural, pe când magnetul temporar își pierde proprietățile magnetice la înlăturarea cauzei exterioare care a produs magnetizarea.

Magnetul permanent se găsește în natură sub forma unui minereu numit magnetită.

**Învăță din imagini!** Reamintește-ți!



Figura II.65

Describe imaginile de mai sus. Găsește criterii de clasificare.



### Reține!

Magneții pot fi clasificați după:

|  |  |
|--|--|
| Natura lor   | <i>naturali; artificiali</i>   |
| Formă  | <i>liniar; ac magnetic; bară ; potcoavă; disc</i>  |
| Intervalul de timp în care își păstrează proprietatea de a atrage corpurile care conțin fier | <i>magnet permanent – au proprietăți magnetice stabile în mod natural<br/>magnet temporar – pierde proprietățile magnetice la înlăturarea cauzei exterioare care a produs magnetizarea</i> |

Tot în clasa a VI-a ai învățat despre câmpul magnetic. Câmpul magnetic se poate descrie și caracteriza calitativ cu ajutorul liniilor de câmp. Totalitatea liniilor de câmp magnetic formează spectrul câmpului magnetic.

**Învăță din imagini!** Identifică obiectele și explică la ce sunt folosite. Ce au în comun toate aceste dispozitive?



Figura II.66

Toate aceste dispozitive au în comun fenomene electrice și magnetice. Fenomenele electrice și cele magnetice, care sunt distincte, sunt interconectate.

**Scurt istoric.** Fizicianul danez Hans Christian Oersted (1777 – 1851) a descoperit în anul 1820 că un curent electric produce în jurul conductorului pe care îl parcurge un câmp magnetic. Astfel, el a pus bazele unei noi ramuri a fizicii, numită electromagnetism; electromagnetismul studiază conexiunea dintre curentul electric și câmpul magnetic.

Celebrul experiment al lui Oersted care arată că energia electrică și magnetismul sunt legate, a avut loc în timpul unei prelegeri la 21 aprilie 1820, când Oersted avea 42 de ani.

Cu 18 ani înainte, în mai 1802, italianul Gian Domenico Romagnosi a descoperit efectele magnetice ale electricității. Rezultatele sale au fost publicate în jurnalul *Trento et Rovereto*; totodată el a trimis o notificare Academiei de Științe Franceze, care a fost ignorată.

Fizicianul danez Oersted a recunoscut că Romagnosi a participat la descoperirea electromagnetismului.



Hans Christian Oersted (1777 – 1851)      Gian Domenico Romagnosi (1761 – 1835)

Figura II.67



### Activitate experimentală

#### 1. Materiale necesare:

- baterie 9V, cui, conductori izolați, clame de birou/cuie mici.

#### • Mod de lucru:

Înfășoară conductorul în jurul cuiului și conectează capetele la baterie. Apropie ansamblul creat de clamele de birou. Ce observi? Clamele/cuiele sunt atrase, deși nu ai un magnet în circuit.

Adu un ac magnetic/o busolă în apropiere. Ce observi? Acul magnetic își schimbă direcția. Inversează conexiunile conductoarelor la baterie. Ce observi? Acul magnetic se răsuștește cu 180 de grade.

#### 2. Materiale necesare:

- un bec, stativ cu borne, baterie, conductori de legătură, clești, întrerupător, ac magnetic.

#### • Mod de lucru:

Realizează circuitul din figura II.69 și închide circuitul. Inversează conexiunea la borne și închide circuitul.

Ce observi? Acul magnetic deviază atunci când prin conductor trece curent electric.

#### 3. Materiale necesare:

- baterie 6 V/alimentator, stativ, suport izolator plan (carton, plexiglas sau lemn) care are în centru un mic orificiu, conductoare electrice, întrerupător, reostat.

#### • Mod de lucru:

3. Trece conductorul electric prin orificiul practicat în suportul izolator dispus orizontal, pe care îl fixezi între doi suporti ai stativului, ca în figura II.70. Așază un ac magnetic pe măsura astfel creată. Conectează un capăt al conductorului la sursa/baterie, iar celalalt capăt, la un reostat. Închide circuitul prin intermediul întrerupătorului. Repetă experimentul pentru diferite poziții ale acului magnetic. Ce observi? Acul magnetic deviază atunci când prin conductor trece curent electric. La închiderea circuitului, acul magnetic se orientează într-un plan perpendicular pe conductor, tangent la un cerc imaginar cu centrul pe conductor și care trece prin centrul acului magnetic. La inversarea sensului curentului electric, acul magnetic se orientează pe aceeași direcție, dar în sens opus. Când circuitul este deschis, acul magnetic indică nordul terestru.

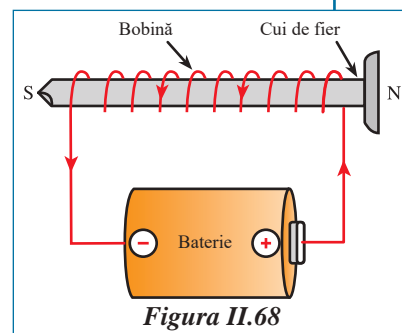


Figura II.68

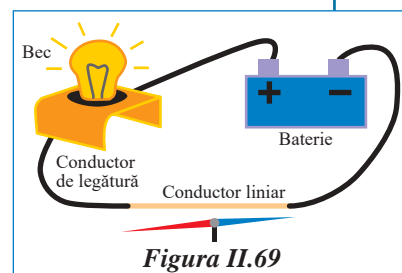


Figura II.69

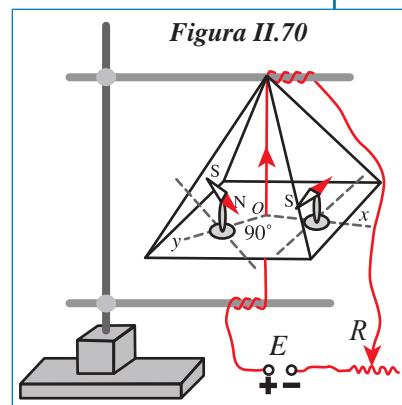


Figura II.70

#### 4. Materiale necesare:

► un bec, galvanometru, magnet bară, sârmă de cupru, conductoare de legătură, calculator/telefon cu acces la internet, pentru realizarea experimentului online (figura II.71, [https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law\\_ro.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_ro.html)).

##### • Mod de lucru:

Realizează practic circuitul din figura II.71. Apropie magnetul de bobină. Ce observi? Scoate magnetul din bobină. Ce observi? Becul luminează și acul galvanometrului deviază atunci când magnetul este introdus/scos din ansamblul de spire.

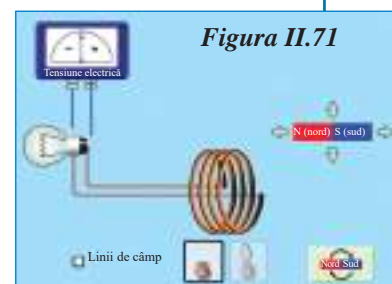


Figura II.71



#### Concluzie

La trecerea curentului electric prin conductorul liniar, acul magnetic își modifică orientarea. Schimbarea sensului curentului electric produce o inversare a orientării acului magnetic. Acțiunea conductorului asupra acului magnetic se exercită atât timp cât acesta este străbătut de curent electric.



#### Activitate experimentală

##### Materiale necesare:

► sursă de curent continuu de 12 V, 4 ace magnetice, o bobină cu 250 spire din trusa de fizică, un întrerupător.

##### • Mod de lucru:

1. Realizează montajul din figura II.72. Închide circuitul și vezi ce se întâmplă. Conectează invers conductorii la sursă și vezi ce se întâmplă. Ce observi?

2. La închiderea circuitului, acul magnetic se orientează paralel cu axa bobinei. Când circuitul este deschis, acul magnetic indică nordul geografic. La inversarea curentului electric prin bobină, acul magnetic se orientează invers față de primul caz.

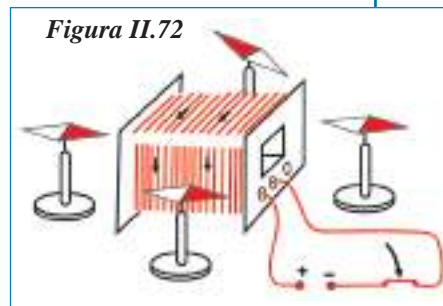


Figura II.72



#### Definiție

Bobina/ solenoidul este un ansamblu de spire identice, paralele și echidistante, perpendicular față de axa de simetrie, rezultat din înfășurarea pe un miez magnetic a unui conductor electric izolat.

Proprietatea cea mai importantă a bobinei constă în faptul că ea poate acumula energie magnetică. Liniile de câmp din afara solenoidului sunt similare cu cele ale unui magnet în formă de bară și se comportă într-un mod similar – ca și cum ar avea un pol nord la un capăt și pol sud la celălalt capăt.



#### Reține!

Bobina parcursă de curent se comportă ca un magnet bară. Polii magnetici ai bobinei se inversează atunci când sensul curentului electric ce o străbate se inversează.

Spațiul din jurul unui conductor străbătut de curent electric capătă proprietăți magnetice, evidențiate de mișcarea acului magnetic.



### Concluzie

Un circuit parcurs de curent electric produce efecte magnetice în spațiul din imediata vecinătate.

La trecerea unui curent electric printr-un conductor se va forma în jurul acestuia un câmp magnetic. Acest efect poartă numele de electromagnetism.

Pentru vizualizarea liniilor de câmp magnetic se folosește pilitura de fier, formată din ace fine rezultate din pilirea unei bare de fier (figura II.73).



Figura II.73

Spectrul câmpului magnetic din jurul conductorului liniar parcurs de curent electric constă în cercuri concentrice în jurul acestuia, într-un plan perpendicular pe conductor. Sensul liniilor de câmp magnetic depinde de sensul curentului electric din conductor. Direcția acului magnetic este tangentă în fiecare punct la liniile câmpului magnetic. Pentru aflarea sensului liniilor de câmp magnetic se utilizează regula burghiului drept/ regula tirbușonului.

**Regula burghiului drept/regula tirbușonului:** se așază tirbușonul paralel față de conductor și se răsucesce astfel încât sensul de înaintare să coincidă cu sensul curentului electric prin conductor; sensul de răsucire al tirbușonului dă sensul liniilor de câmp magnetic.

#### Regula mâinii drepte pentru un conductor liniar

Se așază mâna dreapta astfel încât degetul mare depărtat să fie în sensul curentului electric (figura II.74); degetele apropiate indică sensul liniilor de câmp magnetic din jurul conductorului liniar parcurs de curent electric.

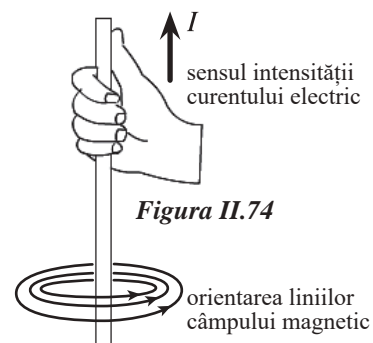


Figura II.74

Spectrul câmpului magnetic produs de o spirală/ o bobină parcursă de curent electric este identic cu cel produs de un magnet bară. În interiorul bobinei, liniile de câmp sunt paralele cu axa bobinei și au același sens. Sensul liniilor de câmp se află cu ajutorul regulii burghiului, sau cu ajutorul regulii mâinii drepte pentru o spirală/o bobină.

#### Regula burghiului pentru o spirală/o bobină

Se așază burghiul perpendicular pe suprafața spirei și se răsucesce în sensul curentului electric din spirală (figura II.75 a); sensul de înaintare a burghiului ne va da sensul liniilor de câmp magnetic prin spirală.

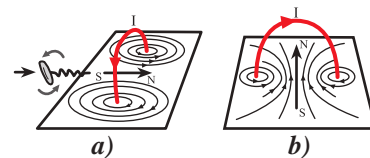


Figura II.75

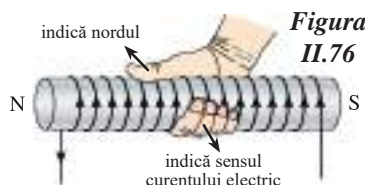
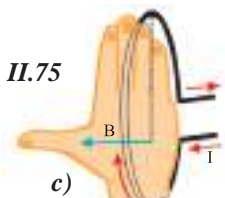


Figura II.76

#### Regula mâinii drepte pentru o spirală/o bobină

Se așază mâna dreapta deasupra spirei (figura II.76) astfel încât degetele apropiate să fie în sensul curentului electric; degetul mare depărtat indică sensul liniilor de câmp magnetic prin spirală.

Spira parcursă de curent electric se comportă asemenea unui magnet foarte scurt, numit foiță magnetică. Suprafața spirei prin care intră liniile de câmp magnetic reprezintă polul sud, iar suprafața spirei prin care ies liniile de câmp magnetic reprezintă polul nord.



### Activități de învățare și de autoevaluare

Desenează liniile de câmp care apar la trecerea curentului electric prin: un conductor liniar, o spirală, un solenoid.



### II.3.1. Studiul experimental (calitativ) al efectului magnetic. Electromagneți

Astăzi, vei învăța despre electromagneți. Numele de electromagnet ne ajută să înțelegem despre ce este vorba. Prima parte a cuvântului, **electro**, se referă la electricitate, iar a doua parte a cuvântului este **magnet**; în concluzie, un **electromagnet** este un magnet care este creat de electricitate.

Un fir conductor parcurs de un **curent** electric creează un **câmp magnetic**. Cel mai simplu electromagnet este un singur fir care este înfășurat ca un arc și are un curent electric care trece prin el. Câmpul magnetic generat de bobina de sârmă este ca un magnet bară obișnuit. Dacă punem o tijă de fier (sau nichel, cobalt etc.) prin centrul bobinei (miezul bobinei), tija devine magnet. Energia electrică pentru un electromagnet o putem obține de la o **baterie**.

Putem produce un câmp magnetic mai puternic prin creșterea intensității curentului care trece prin sârmă sau putem crește numărul de spire de sârmă în bobina electromagnetului. Ce crezi că se întâmplă dacă facem ambele lucruri? Magnetul tău va fi și mai puternic!

Construind un electromagnet, vei ști:

- În ce condiții curentul electric creează un câmp magnetic.
- Să descrii modul în care este fabricat un electromagnet.
- Vei înțelege cum funcționează un electromagnet.

- Vei ști cum poți modifica intensitatea curentului electric prin circuit folosind parametrii constructivi.
- Vei înțelege aplicațiile electromagneților.



#### Activitate experimentală

##### Materiale necesare:

► Cilindru carton (prosop de bucătărie), o baterie de 9 V, elastic de cauciuc/banda adezivă izolatoare, creion, șurub metal/cui, un conductor izolat cu lungimea de 1m, agrafe de birou.

##### Mod de lucru:

- decablează capetele conductorului;
- înfășoară pe rând conductorul, folosind, ca miez, cilindrul de carton, creionul, cuiul;
- conectează capetele conductorului la bateria de 6 V, cu elasticul de cauciuc sau cu banda adezivă;
- apropie electromagnetul astfel confecționat de agrafele de birou;
- completează tabelul de mai jos.

|                           | Număr spire | Număr agrafe atrase<br>Baterie de 6 V | Număr agrafe atrase<br>Baterie de 9 V | Observații<br>Concluzii |
|---------------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Miez – Creion             |             |                                       |                                       |                         |
| Miez din carton           |             |                                       |                                       |                         |
| Miez din fier (cui/șurub) |             |                                       |                                       |                         |

1. Realizează un grafic care arată cum s-a schimbat puterea electromagnetului pe măsură ce ai schimbat numărul de spire din electromagnet.

2. Realizează un grafic care arată modul în care puterea electromagnetului s-a schimbat odată cu schimbarea bateriei.



#### Reține!

**Electromagnetul** este un dispozitiv format dintr-o bobină din sârmă izolată înfășurată în jurul unui miez de fier moale, care se magnetizează atunci când un curent electric trece prin sârmă.

Electromagneții sunt folosiți pentru a converti semnale de control electrice în mișcări mecanice.



Un electromagnet este un magnet care funcționează cu electricitate. Spre deosebire de un magnet permanent, puterea unui electromagnet poate fi ușor modificată variind intensitatea curentului electric care circulă prin el. Polii unui electromagnet pot fi chiar inversați prin schimbarea sensului curentului electric.

Un electromagnet funcționează deoarece un curent electric produce în jurul conductorului pe care îl parcurge un câmp magnetic.



### Activități de învățare și de autoevaluare

1. Care sunt modurile în care un inginer ar putea modifica un electromagnet pentru a modifica puterea câmpului magnetic?
2. Enumeră câteva modalități de folosire a electromagneților.

### II.3.2 Forța exercitată de un electromagnet în funcție de intensitatea curentului (mărime și sens, parametrii constructivi ai bobinei: secțiune, număr de spire, tipul miezului)

Ai învățat că bobina este o componentă de circuit cu două terminale, mai multe spire realizate dintr-un conductor electric izolat și un miez magnetic.

Mărimea fizică ce caracterizează o bobină este inductanța electrică  $L$  și indică capacitatea bobinei de a acumula energie sub formă de câmp magnetic.

Unitatea de măsură pentru inductanța electrică este **henry (H)**. În practică, se utilizează submultipli:

millihenry (mH):  $1\text{mH} = 0,001\text{H} = 10^{-3}\text{H}$

microhenry ( $\mu\text{H}$ ):  $1\mu\text{H} = 0,000\,001\text{H} = 10^{-6}\text{H}$

nanohenry (nH):  $1\text{nH} = 0,000\,000\,001\text{H} = 10^{-9}\text{H}$



### Reține!

Inductanța electrică  $L$  depinde de parametrii constructivi ai bobinei.

$$L = \mu \frac{N^2 S}{l}$$

unde  $\mu$  = permeabilitatea magnetică = parametru specific miezului magnetic

$N$  = numărul de spire,  $S$  = aria secțiunii transversale a bobinei,  $l$  = lungimea bobinei.

Simboluri folosite pentru bobine:

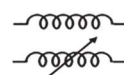
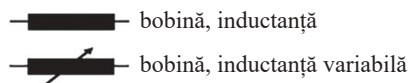


Figura II.77

| Parametrii bobinei              | Câmp magnetic slab | Câmp magnetic mai puternic |
|---------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Material miez magnetic          | aer                | fier moale                 |
| Numărul de spire din înfășurare | număr mic          | număr mare                 |
| Aria înfășurării                | arie mică          | arie mare                  |
| Lungimea înfășurării            | lungime mare       | lungime mică               |



## Activitate experimentală

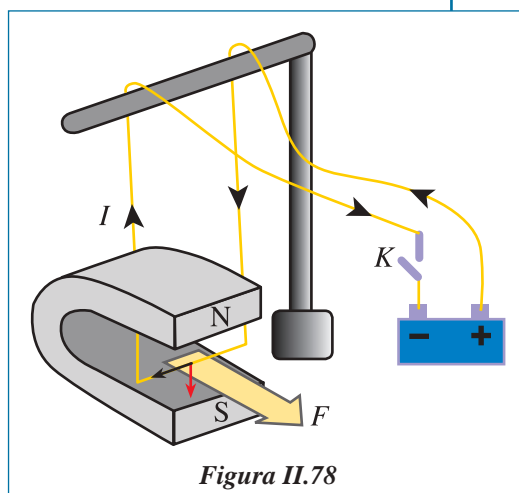
### Materiale necesare:

► doi magneți în formă de U, de dimensiuni diferite; un suport izolator; o baterie; conductoare de legătură; două cadre metalice de dimensiuni diferite, care nu conțin fier; un întrerupător.

### Mod de lucru:

1. Realizează montajul din figura II.78.
2. Închide circuitul apoi deschide-l. Ce observi?
3. Inversează curentul prin circuit.
4. Inversează poziția polilor magnetici.
5. Modifică intensitatea curentului prin circuit.
6. Repetă experimentul cu celălalt magnet.

Ce observi? Când circuitul este deschis, cadrul este în poziție verticală, iar la închiderea circuitului, cadrul deviază.



Dacă se inversează poziția polilor sau sensul curentului, cadrul deviază invers.

Unghiul de deviație al cadrului crește direct proporțional cu intensitatea curentului electric.

Dacă unghiul dintre conductor și liniile de câmp este diferit de  $90^\circ$ , atunci deviația este alta.

Deviația conductorului depinde de magnetul folosit, deci magneții nu sunt la fel de puternici. Poți măsura efectele produse de magnet în funcție de forța care se exercită pe lungimea conductorului și de intensitatea curentului din circuit; mărimea fizică asociată este **inducția magnetică**, notată cu litera  $B$ .

Câmpul magnetic este caracterizat de o mărime vectorială numită inducție magnetică  $\vec{B}$ .



## Reține!

Vectorul inducție magnetică  $\vec{B}$  este tangent în fiecare punct la liniile de câmp magnetic și are același sens cu acestea.

Unitatea de măsură pentru inducția magnetică este **tesla** (T)

$$[B]_{SI} = \frac{[F]_{SI}}{[I]_{SI} \cdot [l]_{SI}} = \frac{N}{A \cdot m} = T$$

**Tesla** este inducția magnetică a unui câmp magnetic uniform care exercită o forță de 1 newton pe fiecare metru din lungimea conductorului așezat perpendicular pe liniile de câmp, prin care trece un curent de un amper. Atunci când conductorul este perpendicular pe axa magnetului, valoarea inducției magnetice este dată de formula:

$$B = \frac{F}{I \cdot l}$$

Forța cu care interacționează magnetul și conductorul parcurs de curent se numește forță electromagnetică. Mărimea forței electromagnetice este direct proporțională cu:

- inducția magnetică;
- lungimea conductorului parcurs de curent;
- intensitatea curentului care străbate conductorul;

și depinde de orientarea conductorului parcurs de curent față de liniile de câmp magnetic.

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha,$$

unde  $\alpha$  este unghiul dintre direcția conductorului și direcția vectorului inducție magnetică.



### Reține!

Direcția forței electromagnetice se află folosind regula mâinii stângi: se așază palma stângă perpendicular pe liniile de câmp magnetic, astfel încât inducția să intre în palmă, degetele alăturate indică sensul curentului electric, iar degetul mare depărtat indică sensul forței electromagnetice.

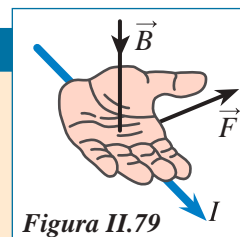


Figura II.79

Forța electromagnetică exercitată de un câmp magnetic uniform asupra unui conductor liniar parcurs de curent electric este direct proporțională cu intensitatea curentului electric ce străbate circuitul, cu lungimea porțiunii de circuit aflată în câmp și cu inducția magnetică a câmpului magnetic.



### Reține!

#### Forța electromagnetică:

- acționează asupra unui conductor parcurs de curent electric, sub influența unui magnet permanent sau a unui electromagnet;
- crește dacă se mărește intensitatea curentului electric prin conductor;
- este perpendiculară pe planul format de conductor și vectorul inducție magnetică;
- are rol de forță de tracțiune în cazul motoarelor.



### Activități de învățare și de autoevaluare

Calculează inductanța unei bobine cu miez magnetic  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ , care are  $N = 100$  spire, lungimea  $l = 1 \text{ cm}$  și diametru  $d = 5 \text{ mm}$ .

### Forța de interacțiune dintre doi conductori paraleli parcurși de curent electric



### Activitate experimentală

#### Materiale necesare:

► 2 conductori liniari/două bobine cadru, un suport izolator, conductori de legătură, surse de tensiune.

#### Mod de lucru:

1. Suspendă cei doi conductori liniari de câte un suport izolator, astfel încât ei să fie paraleli, la o distanță de 1-2 cm unul de celălalt.

2. Conectează separat cei doi conductori la  $3 \text{ V}_{cc}$ , astfel încât intensitatea curenților să aibă același sens.

3. Conectează invers conductorii.

Ce observi?

Conductorii se atrag, atunci când sunt parcurși de curenți de același sens, și se resping dacă sunt parcurși de curenți de sens contrar.



## Concluzie

Două conductoare paralele parcurse de curenți electrici de același sens se atrag. Două conductoare paralele parcurse de curenți electrici de sens contrar se resping (figura II.80).

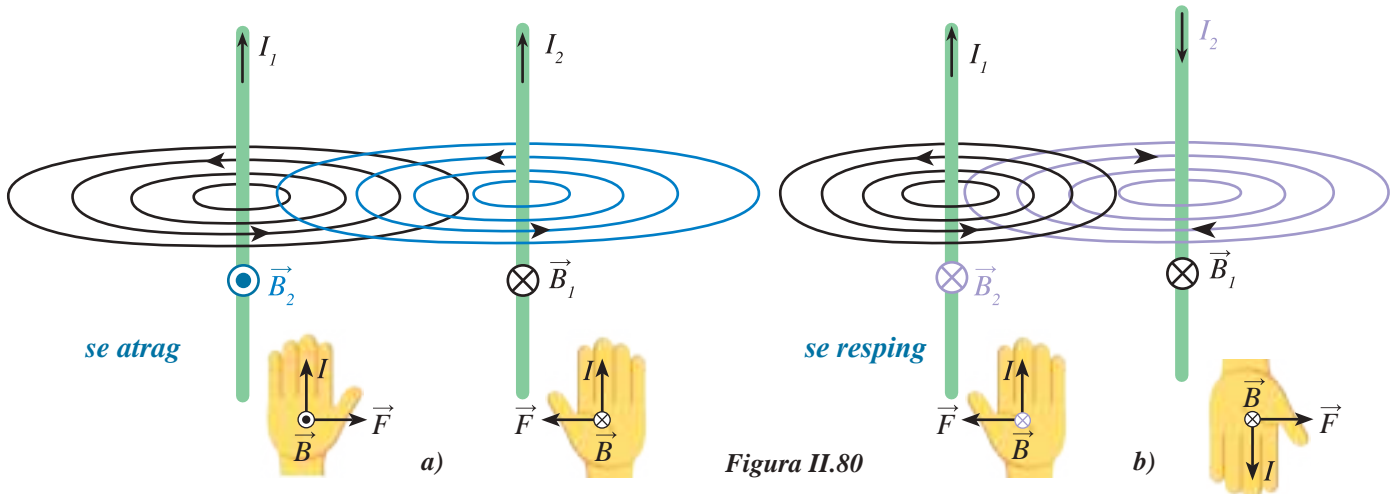


Figura II.80

Stabilim prin convenție (figura II.81) că, atunci când un vector:

- intră în planul hârtiei, îl reprezentăm printr-un cerc cu un X în centru;
- iese din planul hârtiei, îl reprezentăm printr-un punct înscris într-un cerc.



Figura II.81



## Activități de învățare și de autoevaluare

- Privește figura II.82 și reprezintă:
  - sensul liniilor de câmp la conductorii străbătuți de curenții de intensități  $I_1$ , respectiv  $I_2$ ;
  - forța electromagnetică ce se exercită între cei doi conductori;
  - sensul liniilor de câmp magnetic.

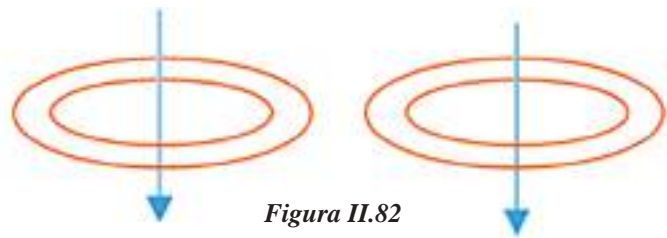


Figura II.82

- Calculează forța de interacțiune pe fiecare metru de lungime care se exercită între doi conductori liniari și paraleli parcurși fiecare de un curent electric  $I_1 = I_2 = 3$  A, dacă inducția câmpului magnetic circular creat este  $B = 4$  T.

### II.3.3. Aplicații

Ai aflat că forța electromagnetică exercitată de un câmp magnetic uniform asupra unui conductor parcurs de curent electric, aflat în acel câmp, este direct proporțională cu inducția magnetică, intensitatea curentului și lungimea conductorului; depinde totodată și de orientarea conductorului în câmpul magnetic. Astfel, putem afla una dintre mărimile necunoscute dacă știm celelalte mărimi.

La baza funcționării mai multor dispozitive stă interacțiunea dintre un câmp magnetic și un curent electric: aparatele de măsură pe care le folosești în laboratorul de Fizică (ampermetrul, galvanometrul, voltmetrul) trenul maglev, propulsia magnetohidrodinamică, soneria electrică, balanța electronică, motoarele electrice.

### Motorul electric

#### Învăță din imagini!



Figura II.83

Inginerii folosesc electromagneți atunci când proiectează și construiesc motoare. Acestea sunt atașate multor dispozitive pe care le folosim zilnic, chiar fără să ne dăm seama.

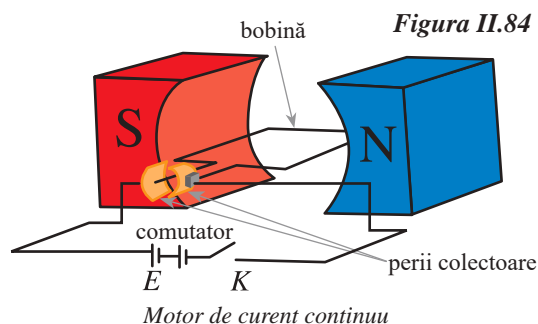


#### Reține!

**Motorul electric** este un dispozitiv care transformă energia electrică în energie mecanică.

Principiul de funcționare al unui motor electric constă în acțiunea forțelor electromagnetice.

Un motor este alcătuit din: o parte fixă, numită *stator*, construit dintr-un *magnet permanent* sau dintr-un *electromagnet*; o parte mobilă, numită *rotor*, alcătuit dintr-o *bobină cu miez din fier*, care se rotește în interiorul statorului, în jurul unui ax central.



#### Activitate experimentală

##### Construiește un motor!

##### Materiale necesare:

► O baterie de 12 V, 2 clame de birou/2 ace de cusut cu urechi mari, bandă adezivă izolatoare, plastilină/lut de modelare, sârmă izolată, cuter, magnet circular. (figura II.85)

##### • Mod de lucru:

Vei realiza un circuit cu buclă închisă astfel: înfășoară sârma în jurul unui marker de 30 ori și îndepărtează markerul; înfășoară fiecare capăt liber al firului în jurul bobinei de câteva ori pentru a ține împreună spirele, apoi îndepărtează capetele departe de buclă; îndepărtează jumătate din izolația de la capete cu ajutorul cuterului; firul expus trebuie să fie orientat pe aceeași direcție pe ambele părți. De ce crezi că jumătate din sârmă trebuie să rămână izolată? Pune bateria pe o suprafață plană și fixează-o cu ajutorul plastilinei; pune acele în poziție verticală lângă bornele bateriei, astfel încât fiecare ac să atingă borna corespunzătoare; vârful acului să fie fixat în plastilină. Cu ajutorul benzii izolatoare, lipește acele de bornele bateriei; trece prin urechile acului capetele dezizolate ale bobinei; așază pe bobină magnetul; dă un mic impuls bobinei.

Ce se întâmplă când rotești bobina în cealaltă direcție? Ce s-ar întâmpla cu un magnet mai mare? Dar cu o baterie mai mare? Dar cu un fir mai gros?

Motorul va continua să se rotească atunci când este împins în direcția corectă. Motorul nu se va roti atunci când impulsul inițial este în direcția opusă.

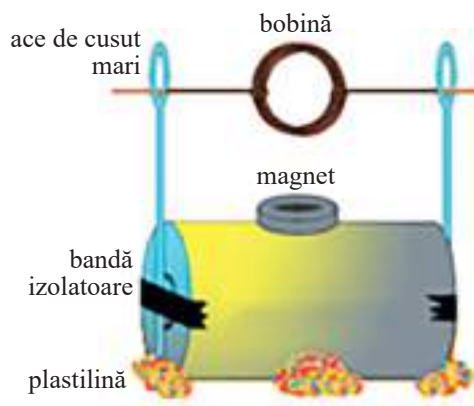


Figura II.85



## Activități de învățare și de autoevaluare

1. Enumeră 5 exemple de dispozitive care funcționează datorită unui motor.
2. Desenează sensul curentului, al forței electromagnetice și al liniilor de câmp din figura II.86.
3. Realizează o jucărie care să folosească un motor.

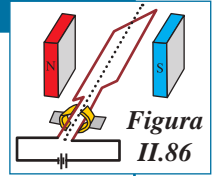


Figura II.86



## Rezumat

**Electrizarea** corpurilor se poate realiza prin frecare, contact și inducție.

**Sarcina electrică** este o mărime fizică ce caracterizează starea de electrizare a corpurilor.

**Legea lui Coulomb** exprimă forța de interacțiune dintre două sarcini punctiforme:  $F = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$ .

Într-un conductor, **rezistența electrică** este raportul dintre tensiunea aplicată și intensitatea curentului:

$$R = \frac{U}{I}. \text{ Rezistența electrică se măsoară în ohmi.}$$

**Rezistența unui conductor liniar** este  $R = \rho \frac{l}{S}$ .

**Legile lui Ohm**, pentru o porțiune de circuit:  $I = \frac{U}{R}$ ; pentru întregul circuit:  $I = \frac{E}{R + r}$ .

La **scurtcircuit**,  $R \cong 0$ , iar intensitatea curentului de scurtcircuit:  $I_{sc} = \frac{E}{r}$ .

La **funcționarea în gol**,  $R \rightarrow \infty$ , iar tensiunea la borne devine:  $U = E$ .

**Legile lui Kirchhoff:**

(I.) Suma intensităților curenților care intră într-un nod de rețea este egală cu suma intensităților curenților care ies din nodul respectiv.

(II.) Suma algebrică a tensiunilor electromotoare dintr-un ochi de rețea este egală cu suma algebrică a tensiunilor de pe laturile ochiului.

**Legea lui Joule:**  $Q = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$

Efectele curentului electric sunt: efectul termic, efectul chimic și efectul magnetic.

La trecerea unui curent electric printr-un conductor se produce, în jurul lui, **câmp magnetic**. Efectul magnetic este folosit pentru crearea unor magneți puternici sau pentru a determina deplasarea unui conductor parcurs de curent electric.

Mărimea fizică ce caracterizează o bobină este **inductanța electrică**  $L$  și indică capacitatea bobinei de a acumula energie sub formă de câmp magnetic.  $L = \mu \frac{N^2 S}{l}$ .

unde  $\mu$  = permeabilitatea magnetică = parametru specific miezului magnetic;  $N$  = numărul de spire;  $S$  = aria secțiunii transversale a bobinei;  $l$  = lungimea bobinei.

**Vectorul inducție magnetică**  $\vec{B}$ , ce caracterizează câmpul magnetic într-un punct, este tangent în fiecare punct la liniile de câmp magnetic și are același sens cu acestea.

Unitatea de măsură pentru inducția magnetică este **tesla**:  $[B]_{SI} = \frac{[F]_{SI}}{[I]_{SI} \cdot [l]_{SI}} = \frac{N}{A \cdot m} = T$

Tesla este inducția magnetică a unui câmp magnetic uniform care exercită o forță de 1 newton pe fiecare metru din lungimea conductorului așezat perpendicular pe liniile de câmp, prin care trece un curent de un amper.

Forța cu care interacționează magnetul și conductorul parcurs de curent se numește **forță electro-magnetică**. Mărimea forței electromagnetice este:  $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$ , unde  $\alpha$  este unghiul dintre direcția conductorului și direcția vectorului inducție magnetică.





### Activitate interdisciplinară

Studiază cu atenție desenul din figura II.87 și răspunde la următoarele cerințe:

1. Identifică noțiunile învățate și unitățile de măsură asociate;
2. Scrie un scurt eseu despre noțiunile învățate în acest capitol;
3. Realizează un desen care să sugereze cât mai multe noțiuni de fizică studiate. Prezintă desenul în fața colegilor. Folosește în explicații un limbaj științific și dă cât mai multe detalii referitoare la modul de realizare a desenului tău.
4. Inspirându-te din imaginea alăturată, realizează un desen în care să exemplifici efectele câmpului magnetic.



Figura II.87



### Test de evaluare

Se acordă un punct din oficiu.

Alege varianta/variantele corectă/corecte:

1. (1p) Prin spirala unui reșou electric, conectat la  $U = 220 \text{ V}$ , trece  $Q = 15 \text{ C}$ . Lucrul mecanic efectuat este:

| a    | b      | c     | d     | e     |
|------|--------|-------|-------|-------|
| 15 J | 3,3 kJ | 68 kJ | 1,5 J | 330 J |

2. (1p) Un conductor este parcurs de un curent de 1,6 A, timp de un minut. Sarcina electronului este de  $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Numărul de electroni care trec prin conductor este:

| a                 | b                  | c                    | d                   | e                    |
|-------------------|--------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| $6 \cdot 10^{20}$ | $6 \cdot 10^{-20}$ | $1,6 \cdot 10^{-19}$ | $1,6 \cdot 10^{20}$ | $3,2 \cdot 10^{-19}$ |

3. (1p) Printr-o lampă conectată la  $U = 220 \text{ V}$ , trece un curent de 1 A. Căldura degajată într-o oră este:

| a     | b       | c      | d      | e     |
|-------|---------|--------|--------|-------|
| 220 J | 13,2 kJ | 792 kJ | 220 kJ | 792 J |

4. (1p) Dacă lungimea unui conductor se dublează, iar diametrul se micșorează de două ori, atunci rezistența sa electrică:

| a              | b               | c               | d              | e              |
|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| Scade de 4 ori | Crește de 2 ori | Crește de 8 ori | Scade de 2 ori | Nu se modifică |

5. (1p) Expresia forței electromagnetice este:

| a   | b   | c                                 | d                       |
|---|---|-----------------------------------|-------------------------|
| $F = B \cdot I \cdot l \cdot \cos \alpha$ | $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$ | $F = B \cdot l \cdot \sin \alpha$ | $F = B \cdot I \cdot l$ |

6. (1p) Completează tabelul de mai jos:

| Nr. crt. | $R (\Omega)$ | $r (\Omega)$ | $U (\text{V})$ | $I (\text{A})$ | $E (\text{V})$ | $\Delta t (\text{s})$ | $W_{\text{ext}} (\text{J})$ | $W_{\text{int}} (\text{J})$ | $P_t (\text{W})$ |
|----------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1        | 25           | 5            |                | 2              |                | 10 s                  |                             |                             |                  |
| 2        |              | 1            | 45             |                | 50             |                       |                             | 125                         |                  |

7. (1p) Asupra unui conductor rectiliniu aflat între polii unui magnet, într-un plan perpendicular pe axa magnetului, se exercită o forță electromagnetice  $F_l = 2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$  atunci când acesta este parcurs de un curent electric  $I = 1 \text{ A}$ . Cât este forța electromagnetice, dacă intensitatea curentului devine  $I = 2,5 \text{ A}$ ?

8. (2p) Tensiunea la bornele unei surse electrice care are t.e.m.  $E = 6 \text{ V}$  este  $U = 5 \text{ V}$  când circuitul este parcurs de un curent cu intensitatea  $I = 1 \text{ A}$ . Să se afle:

- a) rezistența internă a sursei;
- b) rezistența circuitului exterior;
- c) căderea de tensiune în interiorul sursei;
- d) intensitatea curentului la scurtcircuit.

# III.

## FENOMENE OPTICE

### III.1. Introducere

#### III.1.1. Surse de lumină

Orice corp care emite lumină este o sursă de lumină.



#### Reține!

Există două tipuri de surse de lumină:

- a) sursa primară de lumină – un obiect care împrăștie lumina pe care el o produce;
- b) sursa secundară de lumină – un obiect care împrăștie o parte din lumina pe care o primește.

Sursele primare de lumină se văd în întuneric, în timp ce sursele secundare de lumină nu se văd în întuneric.

Atât sursele primare de lumină, cât și cele secundare pot fi naturale sau artificiale (figura III.1).

Soarele, lava din erupțiile vulcanice, sau organismele vii care produc lumină sunt surse primare naturale de lumină. Becurile electrice sau ecranul unui calculator sunt surse primare artificiale. Luna și toate corpurile naturale care pot fi văzute numai dacă sunt luminate sunt surse secundare naturale de lumină. Toate corpurile create de mâna omului, care pot fi văzute atunci când sunt luminate, sunt surse secundare artificiale de lumină.

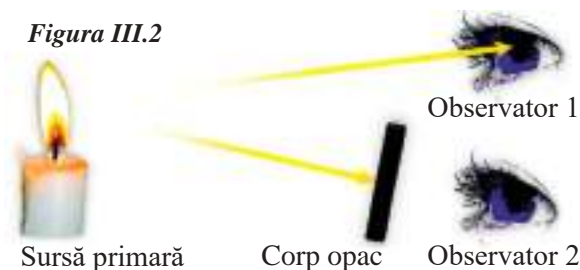
Privește cu atenție figura III.2 și răspunde la întrebarea: *Când putem vedea un obiect?*

Îți vei da seama cu ușurință că observatorul 1 vede lumânarea, dar observatorul 2 nu o vede.



Figura III.1

Figura III.2



#### Reține!

Pentru a vedea un obiect, acesta trebuie să fie sursă de lumină (primară sau secundară), iar lumina împrăștiată de el, să ajungă în ochi.



#### Activitate de învățare și autoevaluare

Realizează un referat cu tema *Bioluminiscența. Lumina produsă de organismele vii.*

#### III.1.2. Propagarea luminii în diverse medii (absorbție, dispersie, culoarea corpurilor etc.)

Știi din clasa a VI-a că există corpuri care permit trecerea luminii prin ele (corpuri transparente sau translucide) și corpuri prin care lumina nu trece (corpuri opace). De asemenea, ai învățat despre reflexie și refracție.

Știi că lumina se propagă în vid cu viteza  $c = 300\,000\text{ km/s} = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$  și că viteza ei în orice alt mediu este mai mică decât această valoare.

În continuare vei afla despre unele fenomene optice care se produc la trecerea luminii printr-un mediu.

Panourile solare – elementele fotovoltaice (figura III.3) – au pătruns deja în viața cotidiană. Există multe aparate alimentate de un generator fotovoltaic (panouri solare), cum ar fi: becuri stradale, becuri pentru grădini, minicalculatoare, aparate electrocasnice, pompe de irigații etc. Elementele fotovoltaice transformă energia luminoasă în energie electrică.



Figura III.3



#### Reține!

**Lumina transportă energie.**

La trecerea luminii printr-un mediu are loc o atenuare a energiei luminoase. Practic, se observă că intensitatea fasciculului de lumină care a trecut prin mediul transparent este mai mică decât intensitatea fasciculului incident. Acest lucru se întâmplă pentru că o parte din fasciculul incident este reflectat, o parte este refractat și o altă parte a fasciculului este absorbită de mediul transparent (figura III.4).

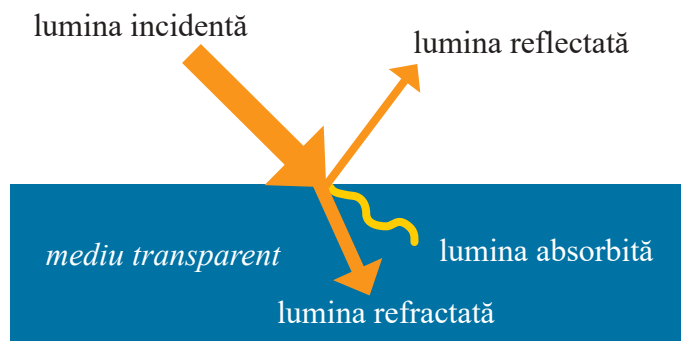


Figura III.4



#### Definiție

**Absorbția luminii** este fenomenul de micșorare a energiei luminoase în timpul trecerii luminii printr-un mediu transparent din cauza interacțiunii dintre lumină și particulele mediului. Energia care este absorbită de mediu se transformă în alte forme de energie (energie termică, energie electrică etc.).

Te-ai întrebat vreodată ce este lumina albă sau cum apare curcubeul (figura III.5)?

Mai întâi, trebuie să știi că lumina albă (sau lumina zilei) este de fapt o combinație a tuturor culorilor cunoscute.



Figura III.5



#### Definiție

**Dispersia luminii** este fenomenul de descompunere a luminii în culorile componente din cauza refracției.

În laborator se folosește o prismă optică din sticlă pentru a obține dispersia luminii (figura III.6).

În natură, rolul prisme este jucat de picăturile de apă. De aceea curcubeul se vede fie după ploaie, fie în apropierea unor mari cascade, atunci când soarele este la orizont (figura III.5).

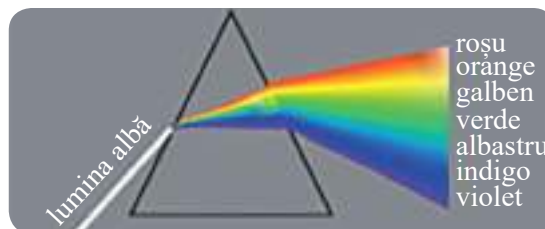


Figura III.6



### Definiție

Totalitatea culorilor componente ale luminii albe (roșu, orange, galben, verde, albastru, indigo și violet, pe scurt ROGVAIV) formează spectrul luminii albe.

Un experiment simplu îți permite să compui culorile pentru a obține lumina albă. Trebuie doar să-ți construiești *discul lui Newton*. Acesta este un disc cu cele șapte culori ale spectrului luminii albe (figura III.7. a). Atunci când discul lui Newton se rotește cu viteză mare el, se vede alb (figura III.7. b).

*De ce unele corpuri sunt colorate în verde, altele în albastru, unele sunt albe, iar altele sunt negre* (figura III.8)?

Absorbția luminii depinde și de culoarea luminii care trece prin mediul respectiv. Astfel, unele culori sunt mai puternic absorbite, altele, mai puțin.



Figura III.7. a)



Figura III.7. b)

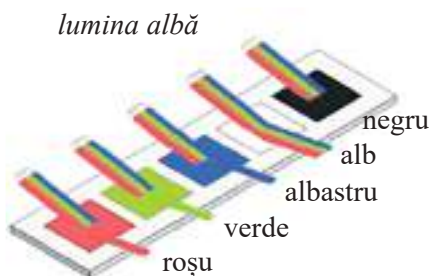


Figura III.8. a)

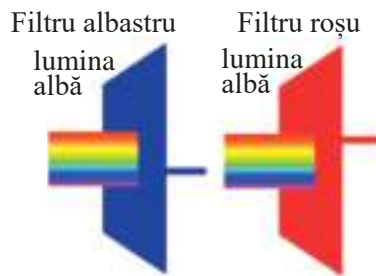


Figura III.8. b)



### Reține!

**Absorbția** are un caracter selectiv.

Un corp este văzut roșu (prin reflexie sau prin transmisie) atunci când substanța din care el este făcut nu absoarbe culoarea roșie (celelalte culori fiind absorbite), este verde dacă substanța nu absoarbe culoarea verde etc. (figura III.8. a). Un corp este alb atunci când niciuna din culorile componente ale luminii albe nu este absorbită, iar un corp este negru atunci când toate culorile luminii albe sunt absorbite. Culorile filtrelor fotografice se explică în același mod (figura III.8. b).



### Reține!

**Culoarea corpurilor** poate fi explicată cu ajutorul fenomenelor de absorbție și de reflexie sau de transmisie a luminii.

De exemplu, un corp de culoare roșie (figura III.9 a) se va vedea negru dacă din lumina incidentă pe el va lipsi culoarea roșie (figura III.9 b).



Figura III.9. a)



Figura III.9. b)



### Curiozități

Fizicianul englez Isaac Newton a descompus pentru prima oară lumina albă cu ajutorul unei prisme din sticlă (figura III.10) în 1672. De asemenea, el a pus o a doua prismă în calea fascicului de lumină refractat de prima și a arătat astfel că roșu, verde și albastrul sunt culori care nu se mai pot descompune; acestea se numesc culori primare. Tot Newton a fost cel care a eliminat albul și negrul din categoria culorilor. Astăzi, se știe că toate culorile, nuanțele și tonurile pe care le percepe omul provin din combinația celor trei culori primare de bază, respectiv verde, roșu și albastru.

### Învățăm din imagini!

Privește cu atenție figura III.11 pentru a vedea cum se obțin și celelalte culori folosind suprapunerea culorilor primare.



Figura III.10



Figura III.11

### III.1.3. Raze de lumină/fascicul de lumină

Cum se propagă lumina?



### Activitate experimentală

#### Propagarea rectilinie a luminii

#### Materiale necesare:

► o sursă de lumină (un bec) și trei suprafețe opace (cartoane) prin care este practicat câte un mic orificiu (o fantă).

#### • Mod de lucru:

a) Pune cartoanele paralele între ele, dar cu fantele în diferite poziții și privește prin fanta cea mai apropiată de ochi pentru a vedea becul (figura III.12. a). Nu vei vedea becul.

b) Pune cartoanele paralele între ele, cu fantele în linie dreaptă, și privește prin fanta cea mai apropiată de ochi pentru a vedea becul (figura III.12. b). Acum vei vedea becul (figura III.12. c).

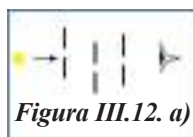


Figura III.12. a)

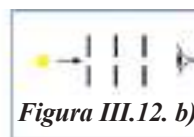


Figura III.12. b)

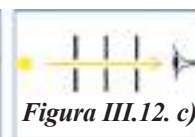


Figura III.12. c)



### Concluzie

Lumina se propagă în linie dreaptă într-un mediu transparent, omogen și izotrop.



### Definiție

Un **mediu omogen** are aceleași proprietăți fizice și chimice în orice punct al său, independent de coordonatele spațiale. Un **mediu izotrop** dacă proprietățile lui sunt aceleași pe orice direcție.

La trecerea luminii printr-o fantă (un mic orificiu) se obține un **fascicul de lumină** (figura III.13). Cel mai îngust fascicul de lumină pe care ni-l putem imagina îl numim **rază de lumină**.

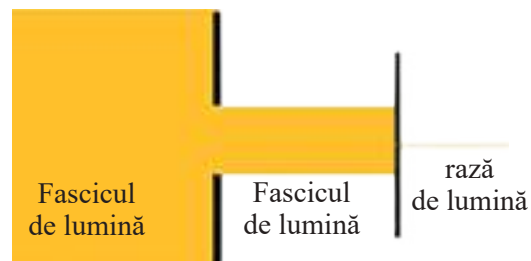


Figura III.13





## Definiție

**Raza de lumină** este o noțiune abstractă, definită ca fiind dreapta de-a lungul căreia se propagă lumina într-un mediu transparent, omogen și izotrop.

Razele de lumină sunt folosite pentru a modela propagarea luminii printr-un sistem optic, prin împărțirea câmpului real de lumină în raze discrete.

Conform acestui model, un fascicul real de lumină va fi considerat ca fiind format din mai multe raze de lumină. Un fascicul de lumină poate fi paralel, convergent sau divergent (figura III.14).

### Învață din imagini!

Privește cu atenție figura III.14 și stabilește prin ce se caracterizează fiecare fascicul.

Ce tip de fascicule emit proiectoarele care luminează o scenă (figura III.15)?

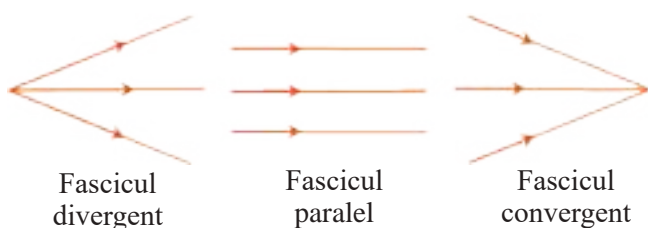


Figura III.14



Figura III.15

### III.1.4. Principiile propagării luminii

La baza opticii geometrice stau *trei principii*.



## Enunț

#### (I) Principiul propagării rectilinii a luminii

Într-un mediu transparent, omogen și izotrop, lumina se propagă în linie dreaptă.

Fenomenul de umbră și penumbră, formarea imaginilor în camera obscură, eclipsele de Lună și de Soare, toate aceste fenomene sunt o consecință a propagării rectilinii a luminii (figura III.16).

Din fenomenele studiate în optica geometrică se constată experimental că, dacă mai multe raze de lumină se intersectează într-un punct, ele se propagă în continuare independent unele față de altele, menținându-și direcția neschimbată.

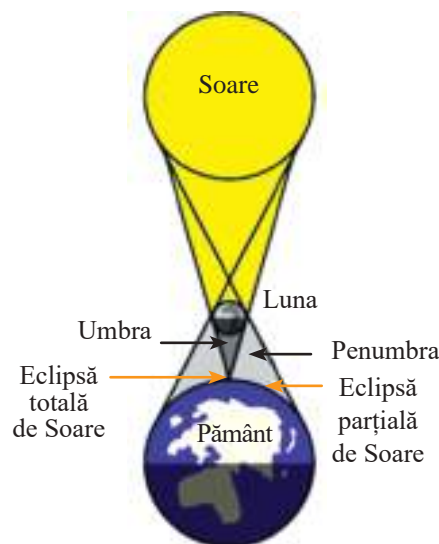


Figura III.16



## Enunț

#### (II) Principiul independenței razelor de lumină

Razele de lumină sunt independente unele față de altele.

Tot experimental s-a constatat că traiectoria unei raze de lumină într-un sistem optic este aceeași indiferent de sensul de propagare a luminii.





### Enunț

#### (III) Principiul reversibilității razelor de lumină

Lumina poate parcurge același drum în ambele sensuri de propagare.

## III.2. Reflexia

### III.2.1. Reflexia luminii

Reflexia luminii este un fenomen întâlnit des în natură (figura III.17).

În figura III.18 este reprezentată o rază de lumină care se reflectă pe suprafața de separație dintre mediul 1 și mediul 2.



Figura III.17



### Definiție

**Reflexia** este fenomenul de schimbare a direcției de propagare a luminii și întoarcerea ei în mediul din care provine atunci când întâlnește suprafața de separație dintre două medii.

Se folosesc următoarele denumiri:

$S$  = sursa de lumină;  $SI$  = raza incidentă;  $I$  = punct de incidență;  $IR$  = raza reflectată;  $IN$  = normala (perpendiculara) la suprafața de separație în punctul de incidență;  $\hat{i}$  = unghi de incidență;  $\hat{r}$  = unghi de reflexie (figura III.18)

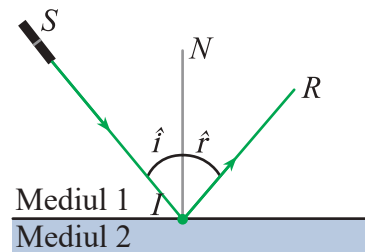


Figura III.18

### III.2.2. Legile reflexiei – aplicație experimentală – oglinzi plane



### Definiție

O suprafață plană, foarte netedă, care reflectă lumina este o **oglină plană** (figura III.19).



### Activitate experimentală

**Studiul experimental al fenomenului de reflexie** (figura III.19)

**Materiale necesare:**

► o foaie de hârtie A4, pe care ai desenat un raportor punând valoarea de  $0^\circ$  pe axa verticală și valorile de până la  $90^\circ$  de o parte și de alta a axei verticale (unește valorile de  $90^\circ$  cu o linie – figura III.20); o oglindă plană și un suport pentru oglindă; o sursă LASER; un creion.



Figura III.19

#### • Mod de lucru:

Pe o suprafață plană orizontală (masa de lucru), așază foaia de hârtie și sprijină oglinda în poziție verticală, astfel încât ea să fie așezată pe linia ce unește valorile de  $90^\circ$  (figura III.19).

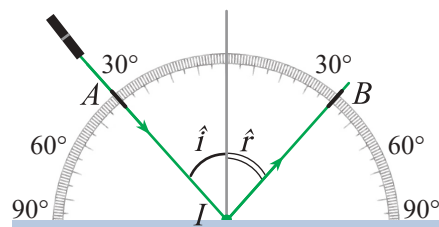


Figura III.20

Trimite o rază laser care să se reflecte pe oglindă exact în centrul raportorului desenat pe foaie (figura III.19). Așază laserul în așa fel încât raza incidentă să fie în planul foi și să se vadă pe hârtie. Pune un semn cu creionul în punctul în care raza incidentă trece peste raportor (punctul A) și un alt semn în punctul în care raza reflectată trece peste raportor (punctul B) (figura III.20). Citește unghiul de pe raportor din dreptul punctelor A și B. Vei găsi astfel unghiul de incidență  $\hat{i}$  și unghiul de reflexie  $\hat{r}$ . Repetă experimentul pentru valori diferite ale unghiului de incidență.

- Calculează raportul celor două unghiuri. Trece valorile găsite într-un tabel de date experimentale:

| Nr. det. | $\hat{i}^\circ$ | $\hat{r}^\circ$ | $\hat{i}^\circ/\hat{r}^\circ$ | $(\hat{i}/\hat{r})_{\text{mediu}}$ | $\Delta(\hat{i}/\hat{r})$ | $[\Delta(\hat{i}/\hat{r})]_{\text{mediu}}$ |
|----------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------|--|
|          |                 |                 |                               |                                    |                           |  |

- Scrie rezultatul experimentului sub forma:  $\frac{\hat{i}}{\hat{r}} = \left(\frac{\hat{i}}{\hat{r}}\right)_{\text{mediu}} \pm [\Delta(\frac{\hat{i}}{\hat{r}})]_{\text{mediu}}$



## Concluzie

Raza incidentă, normala la oglindă în punctul de incidență și raza reflectată sunt în același plan.

Raportul  $\frac{\hat{i}}{\hat{r}} = 1$ .



## Enunț

### Legile reflexiei

1. Raza incidentă, normala la suprafața de separație în punctul de incidență și raza reflectată aparțin aceluiași plan (planul de incidență).

2. Unghiul de incidență este egal cu unghiul de reflexie.

$$\hat{i} = \hat{r}$$

În general, în natură, suprafețele pe care se produce reflexia luminii au mici denivelări, astfel că un fascicul paralel de lumină este împrăștiat. În acest caz, spunem că **reflexia este difuză** și imaginile care se obțin în urma acestei reflexii nu sunt clare (figura III.21).



Figura III.21

### Imagini în oglinzi plane

Pentru a explica obținerea imaginilor în oglinzile plane se folosesc legile reflexiei și se ține cont de faptul că o imagine poate fi văzută numai dacă razele reflectate de oglindă ajung în ochiul observatorului (figura III.22).



## Reține!

Pentru construcția imaginii unui punct-obiect în oglinda plană, se duc două raze care pleacă din acel punct, sunt reflectate de oglindă și apoi ajung în ochiul observatorului. Punctul-imagine se obține la intersecția prelungirilor razelor reflectate.

În figura III.22, razele reflectate care ajung în ochiul observatorului și contribuie la formarea imaginii sunt SA respectiv BR. Imaginea S' se obține în spatele oglinzii la intersecția prelungirilor razelor de lumină. Ea este o **imagine virtuală**.

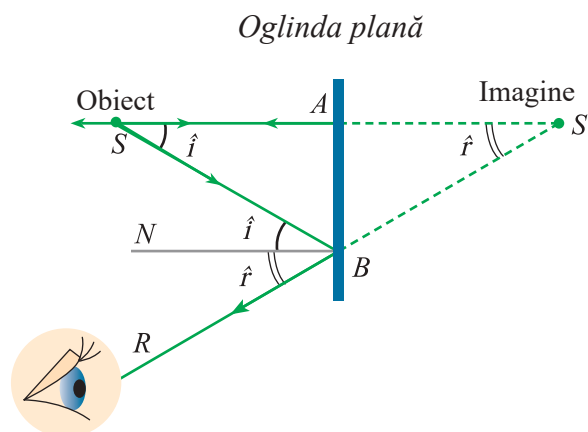


Figura III.22

În figura III.22, ținând cont de construcția geometrică făcută, putem afirma că  $\Delta S'AB$  este congruent cu  $\Delta SAB$  (deoarece sunt dreptunghice, au latura comună  $AB$  și unghiurile egale  $\angle ASB = \angle AS'B$ ). Rezultă deci că  $S'A = AS$ , adică imaginea  $S'$  este simetrică cu obiectul  $S$  față de oglindă.



#### Reține!

În cazul unei construcții geometrice, **imaginea virtuală** se obține la intersecția prelungirilor razelor reflectate, iar în cazul unui experiment, ea nu poate fi prinsă pe un ecran.

**Imaginea reală** poate fi prinsă pe un ecran, aflându-se la intersecția razelor reflectate.

**Ochiul nu deosebește imaginile reale de cele virtuale.**

În figura III.23 poți observa imaginea unui obiect într-o oglindă plană (imaginea unui flamingo obținută prin reflexie pe suprafața apei).



#### Reține!

**Imaginea unui obiect într-o oglindă plană:**

- este virtuală;
- este simetrică cu obiectul față de oglindă (adică distanța imagine-oglină este egală cu distanța obiect-oglină);
- are dimensiunea egală cu cea a obiectului;



Figura III.23



#### Observație

• Oricare ar fi direcțiile razelor incidente care pornesc din punctul-obiect, direcțiile razelor reflectate de oglindă vor trece întotdeauna prin punctul imagine (figura III.24).

• În continuare, vom construi punctul-imagine ca fiind simetricul punctului-obiect față de oglinda plană.

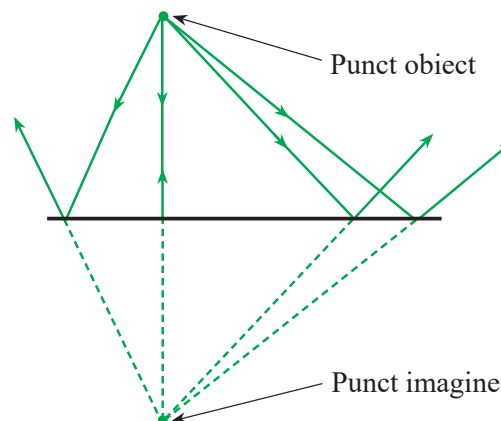


Figura III.24



#### Curiozități

**Imagini multiple în oglinzi plane**

În figura III.25 sunt fotografiate imaginile unui obiect (un disc roșu) obținute într-un sistem de două oglinzi plane care fac între ele un unghi diedru de  $90^\circ$ . Se văd 3 imagini.

Imaginea 1 este imaginea obiectului în oglinda 1, imaginea 2 este imaginea obiectului în oglinda 2, iar a III-a imagine apare pentru că imaginea dată de o oglindă devine obiect pentru cealaltă. Astfel, imaginea 1 devine obiect pentru oglinda 2 și se obține imaginea 3.

Analog, imaginea 2 devine obiect pentru oglinda 1 și se obține tot imaginea 3. Numărul imaginilor obținute depinde de unghiul dintre oglinzi.

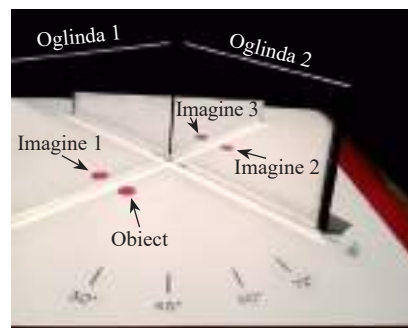


Figura III.25



## Activitate experimentală

### Imagini multiple în oglinzi plane

#### Materiale necesare:

► două oglinzi plane; suporturi pentru oglinzi; o foaie albă A4 pe care sunt desenate două axe perpendiculare și sunt trasate mai multe linii care fac cu una din axe unghiul de 30°, 45°, 60°, 72° (ca în figura III.25).

#### • Modul de lucru:

– așază foaia A4 pe care sunt trasate axele pe o masă orizontală și desenează un mic disc colorat între cele două axe (ca în figura III.25);

– așază oglinzile perpendiculare pe foaie, astfel încât ele să aibă o latură comună, iar unghiul diedru dintre ele să fie de 90°, 72°, 60°, 45°, 30°;

– notează pe caiet câte imagini vezi pentru fiecare unghi dintre oglinzi și completează tabelul de forma:

| $\alpha$    | 90° | 72° | 60° | 45° | 30° | 0° |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| Nr. imagini |     |     |     |     |     |    |

Observă că există o anumită regiune din spațiu în care trebuie să se afle ochiul observatorului (ochiul tău) pentru a vedea toate imaginile date de sistem.



## Concluzie

Imaginile date de sistem sunt vizibile numai dintr-o anumită regiune din spațiu. Pe măsură ce unghiul dintre oglinzi scade, numărul imaginilor crește.

Poți verifica formula pe baza căreia se poate calcula numărul de imagini ce se obțin în funcție de unghiul dintre oglinzi:

$$\text{Nr. imagini} = \frac{360}{\alpha} - 1$$

Câte imagini se văd atunci când cele două oglinzi sunt paralele, iar pata colorată este între ele?

### Oglinzi sferice

Oglinzile sferice sunt suprafețe sferice care reflectă lumina. Ele pot fi:

• *oglinzi concave* – atunci când suprafața lucioasă este pe partea din interior a sferei; oglinda concavă transformă fasciculul luminos paralel într-un fascicul convergent – figura III.26 a).

• *oglinzi convexe* – atunci când suprafața lucioasă este pe partea exterioară a sferei; oglinda convexă transformă fasciculul luminos paralel într-un fascicul divergent – figura III.26 b).

Imaginea unui obiect într-o oglindă sferică depinde de tipul de oglindă folosit și de distanța de la obiect la oglindă. Astfel, imaginea unui obiect într-o oglindă concavă poate fi reală și răsturnată, mai mare sau mai mică decât obiectul, sau virtuală și dreaptă, mai mare decât obiectul. Imaginea unui obiect într-o oglindă convexă va fi, întotdeauna virtuală, dreaptă și mai mică decât obiectul.

Cu ajutorul a două oglinzi sferice (una dintre oglinzi are un orificiu circular) așezate față în față și un mic obiect roșu (o bomboană) între ele, se poate obține o imagine virtuală care creează impresia că obiectul este la suprafața oglinzii – ca în figura III.26 c), deși el este în realitate între oglinzi.

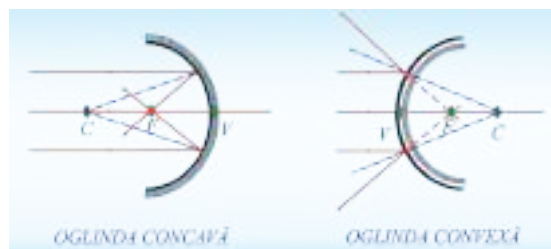


Figura III.26 a)

Figura III.26 b)



Figura III.26 c)

### III.2.3. Extindere: aplicații ale legilor reflexiei în tehnologie

Oglinda este un dispozitiv optic ce a intrat de mult în activitatea cotidiană. Oglinzi se găsesc în construcția automobilelor, în construcția farurilor, a proiectoarelor, a telescoapelor, a unor aparate medicale, a unor aparate folosite în navigație (sextantul) etc. (figura III.27).



Oglindă plană



Oglindă retrovizoare



Oglindă stomatologică



Lampa ORL cu oglindă



Far autoturism



Sextantul



Telescopul spațial Hubble

Figura III.27

Oglinzi plane există în fiecare casă; oglinda retrovizoare este o oglindă convexă; oglinda stomatologică, cea din lampa ORL, cea de la far și cea de la telescop sunt oglinzi concave.

**Sextantul** este un instrument optic pentru măsurarea unghiului dintre două obiecte îndepărtate. El este format dintr-o oglindă plană fixă, una mobilă, o lunetă, o bară prinsă rigid de oglinda mobilă și filtre pentru a reduce lumina puternică în cazul vizualizării Soarelui (figura III.28).

Principiul de funcționare a sextantului este genial prin simplitatea sa.

În cazul măsurării unghiului dintre Soare și orizont, inițial, în câmpul vizual al lunetei, se vizualizează orizontul (figura III.28). Se vor vedea două imagini ale orizontului: una vizibilă direct printr-un geam (la stânga) și alta obținută prin reflexia luminii pe cele două oglinzi (la dreapta). Se rotește apoi oglinda mobilă până ce, în câmpul vizual al lunetei, în partea dreaptă, se vede imaginea reflectată a Soarelui, tangentă la linia orizontului (figura III.29). Pe indicator se citește unghiul dintre Soare și orizont. Practic, se măsoară unghiul cu care s-a rotit oglinda mobilă pentru a aduce imaginea Soarelui în câmpul vizual al lunetei.



Inițial – Figura III.28



Final – Figura III.29

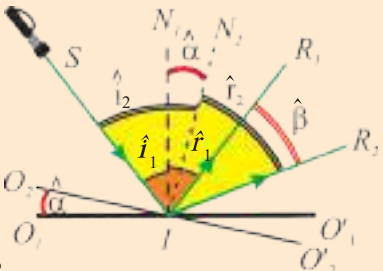


### ☑ Probleme rezolvate

1. O rază de lumină cade pe o oglindă plană sub un unghi de incidență de  $56^\circ$ . Calculează unghiul de deviație,  $\delta$ , dintre raza incidentă și raza reflectată ( $\delta$  este unghiul dintre direcția razei incidente și direcția razei reflectate luate în sensul lor de propagare).

| Rezolvare  | Indicații de rezolvare  |
|--|---|
| $\delta = 180^\circ - \hat{i} - \hat{r}$<br>$\hat{i} = \hat{r}$<br>Deci:<br>$\delta = 180^\circ - 2\hat{i} = 68^\circ$ | Reprezintă sistemul descris în problemă, razele de lumină și unghiul $\delta$ .<br>Folosește noțiunile de geometrie plană învățate și legile reflexiei. |

2. Cu ce unghi se rotește raza reflectată pe o oglindă plană dacă oglinda se rotește cu un unghi  $\alpha$  în jurul unei axe ce trece prin punctul de incidență și este perpendiculară pe planul de incidență. Raza de incidență nu își schimbă poziția.

| Rezolvare   | Indicații de rezolvare   |
|---|--|
|  $\hat{\beta} = SIR_2 - SIR_1$ $SIR_1 = \hat{i}_1 + \hat{r}_1 = 2\hat{i}_1$ $SIR_2 = \hat{i}_2 + \hat{r}_2 = 2\hat{i}_2$ $O_1IO_2 = N_1IN_2 = \hat{\alpha}$ Deci $\hat{\beta} = 2(\hat{i}_2 - \hat{i}_1) = 2\hat{\alpha}$ | Reprezintă sistemul descris în problemă în planul de incidență (vezi figura alăturată și identifică toate elementele ei).<br>$O_1O_1'$ este poziția inițială a oglinzii, $O_2O_2'$ este poziția oglinzii rotite cu unghiul $\alpha$ .<br>$IR_1$ este raza reflectată inițial și $IR_2$ este raza reflectată după rotirea oglinzii.<br>$\beta$ este unghiul pe care trebuie să-l determini.<br>Știi de la geometrie că două unghiuri cu laturile perpendiculare sunt egale, deci:<br>$O_1IO_2 = N_1IN_2 = \hat{\alpha}$ . |



### Reține!

Dacă o oglindă se rotește cu un unghi  $\alpha$ , raza reflectată se rotește cu  $2 \cdot \alpha$  (aplicație sextantului).

3. O sportivă are, atunci când ridică mâinile (figura III.30), înălțimea de 2 m, iar ochii se află la înălțimea de 1,6 m față de podeaua camerei. Ea se privește într-o oglindă plană, verticală, așezată pe unul dintre pereții camerei.

Care trebuie să fie înălțimea minimă a oglinzii și la ce distanță de podea trebuie să se afle latura ei inferioară pentru ca sportiva să-și vadă în întregime imaginea în oglindă?

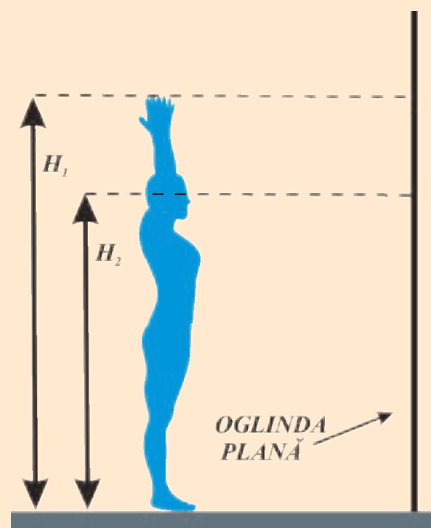
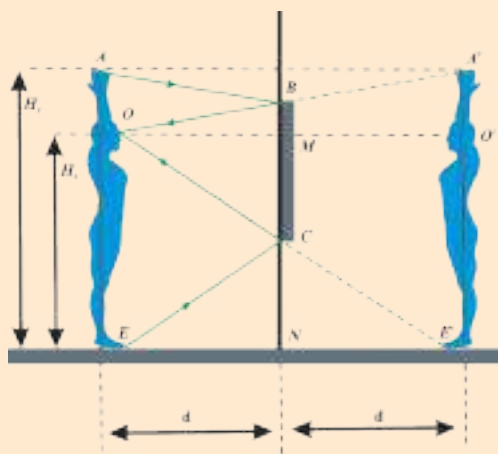


Figura III.30



Rezolvare



$$H_1 = 2 \text{ m}, H_2 = 1,6 \text{ m}$$

Se consideră triunghiul  $\triangle OA'E'$ .

BC este linie mijlocie în acest triunghi, pentru că  $OM = MO'$ .

$$\text{Deci, } h_{\text{minim}} = BC = H_1/2 = 1 \text{ m}$$

În triunghiul  $\triangle EOE'$ , CN este linie mijlocie pentru că  $EN = NE'$ .

$$\text{Deci, } h_{\text{inferior}} = CN = H_2/2 = 0,8 \text{ m.}$$

Indicații de rezolvare

Reprezintă imaginile punctelor A, O (ochi) și E. Pentru ca sportiva să vadă vârful degetelor în oglindă (punctul A'), trebuie ca o rază de lumină care pornește din A și se reflectă pe oglindă (în B) să ajungă în ochi (în O).

Punctele O, B și A' sunt coliniare.

De asemenea, sportiva vede vârful picioarelor în oglindă (punctul E') numai dacă există o rază de lumină care pornește din E, se reflectă pe oglindă (în C) și ajunge la ochi.

Punctele O, C și E' sunt coliniare.

Pentru ca sportiva să se vadă în oglindă, trebuie să existe reflexie în B și C, deci înălțimea minimă a oglinzii este  $h_{\text{minim}} = BC$ .

Latura inferioară a oglinzii trebuie să fie în C, deci ea se află față de podea la  $h_{\text{inferior}} = CN$ .

Știi că lungimea liniei mijlocii într-un triunghi este egală cu jumătate din latura triunghiului cu care ea este paralelă.



Reține!

Pentru ca să te vezi în întregime într-o oglindă, trebuie ca oglinda să aibă o dimensiune minimă și trebuie așezată într-o anumită poziție față de tine.



Activități de învățare și de autoevaluare

1. Doi observatori, A și B, se află în dreapta și în stânga unei oglinzi plane (figura III.31). Despre imaginile lor A' și B' în oglindă se poate afirma că:

- a) nu se pot forma în oglindă; b) ambele imagini pot fi văzute de A;
- c) ambele imagini pot fi văzute de B; d) A vede numai A'; e) B vede numai A'.

2. O rază de lumină verticală (figura III.32) întâlnește în punctul A o oglindă plană care face cu orizontala un unghi de  $45^\circ$ . Raza reflectată de oglindă produce în punctul B al unui perete vertical o mică pată luminoasă. Fără să se modifice poziția razei incidente, se rotește oglinda în jurul axei ce trece prin A astfel încât pata luminoasă de deplasează pe perete în punctul C, pe distanța  $BC = 1 \text{ m}$ . Calculează unghiul cu care s-a rotit oglinda, știind că  $AB = \sqrt{3} \text{ m}$ .

3. Pe podeaua unei camere se află o oglindă plană circulară cu diametrul de 10 cm. Camera are înălțimea de 3 m, iar pe verticala dusă prin centrul oglinzii, la înălțimea de 0,75 m de ea, se află o sursă punctiformă de lumină. Calculează diametrul petei circulare de pe plafonul camerei, determinat de lumina reflectată.



Figura III.31

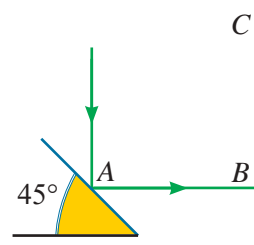


Figura III.32

## III.3. Refracția

### III.3.1. Indicele de refracție

Știi deja că viteza de propagare a luminii în vid este  $c = 300\,000\text{ km/s} = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$ . Aceasta este cea mai mare viteză cunoscută până în prezent. În orice mediu transparent, viteza luminii este mai mică decât viteza luminii în vid. Pentru a descrie modul în care lumina se propagă într-un mediu, se definește mărimea fizică numită *indicele de refracție absolut al mediului*.



#### Definiție

**Indicele de refracție absolut** al unui mediu ( $n$ ) este egal cu raportul dintre viteza luminii în vid și viteza luminii în mediul considerat:  $n = \frac{c}{v}$

Indicele de refracție absolut caracterizează fiecare mediu din punct de vedere optic. În tabelul de mai jos, sunt trecute valorile aproximative ale unor indici de refracție.

| Mediu                 | aer | apă  | sticlă crown | gheață | diamant |
|-----------------------|-----|------|--------------|--------|---------|
| Indicele de refracție | 1   | 1,33 | 1,50 – 1,62  | 1,31   | 2.42    |

Indicele de refracție absolut al unui mediu variază puțin în funcție de culoarea luminii ce străbate acel mediu. Astfel se explică fenomenul de dispersie a luminii (definit într-o lecție anterioară).



#### Reține!

**Indicele de refracție absolut** este o mărime adimensională și are o valoare supraunitară.

Atunci când lumina trece dintr-un mediu cu indice de refracție  $n_1$  într-un mediu cu indice de refracție  $n_2$  se definește indicele de refracție relativ al mediului 2 față de mediul 1 ( $n_{21}$ ).



#### Definiție

Indicele de refracție relativ al mediului 2 față de mediul 1 se definește prin relația:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$



#### Activități de învățare și de autoevaluare

1. Ce valoare are indicele de refracție absolut al uleiului de măsline dacă viteza de propagare a luminii în uleiul de măsline este  $204 \cdot 10^6\text{ m/s}$ ?
2. Calculează viteza luminii în apă știind că ea are indicele de refracție absolut  $n = 1,33$ .

### III.3.2. Refracția luminii – evidențierea experimentală a fenomenului



#### Activitate experimentală

1. Privește de sus și puțin oblic un creion aflat în apă (figura III.33). El ți se va părea rupt la suprafața apei, din cauza refracției luminii la trecerea din apă în aer.

2. Pune o monedă într-un vas aflat pe o masă orizontală (figura III.34 a).



Figura III.33



Figura III.34 a)



Figura III.34 b)



Figura III.34 c)



Figura III.34 d)

Fără să modifice poziția ochilor, îndepărtează ușor vasul până când nu mai vezi moneda (figura III.34 b), c). Toarnă acum apă în vas. Moneda va apărea – figura III.34 d) – datorită refracției luminii la trecerea din apă în aer.



#### Definiție

**Refracția luminii** este fenomenul de schimbare a direcției de propagare a luminii atunci când traversează suprafața de separație dintre două medii transparente.

În continuare, vom numi **dioptru** ansamblul format din două medii optic omogene, separate de o suprafață dată.



#### Activitate experimentală

##### Studiul fenomenului de refracție

##### Materiale necesare:

- un LASER
- un dispozitiv experimental ca acela din figura III.36 (vezi pagina 108). Acesta conține: un semicilindru transparent din sticlă cu indicele de refracție cunoscut; un suport pe care sunt trasate două axe perpendiculare și unghiurile față de axa normală la dioptru (figura III.35).

**A. Studiul refracției la trecerea luminii dintr-un mediu cu indice de refracție mai mic într-un mediu cu indice de refracție mai mare (din aer în sticlă)**

În figurile III.36 a) și b) sunt reprezentate fotografii făcute în timpul acestui experiment.

##### • Modul de lucru:

Se așază semicilindrul astfel încât punctul de intersecție a celor două axe (punctul de incidență) să coincidă cu axa de simetrie a semicilindrului (figura III.35).

Se trimite o rază LASER, în planul suportului, astfel încât ea să vină din aer și să intre în semicilindrul din sticlă prin dioptrul plan aer-sticlă, exact în centrul semicilindrului (figura III.35).

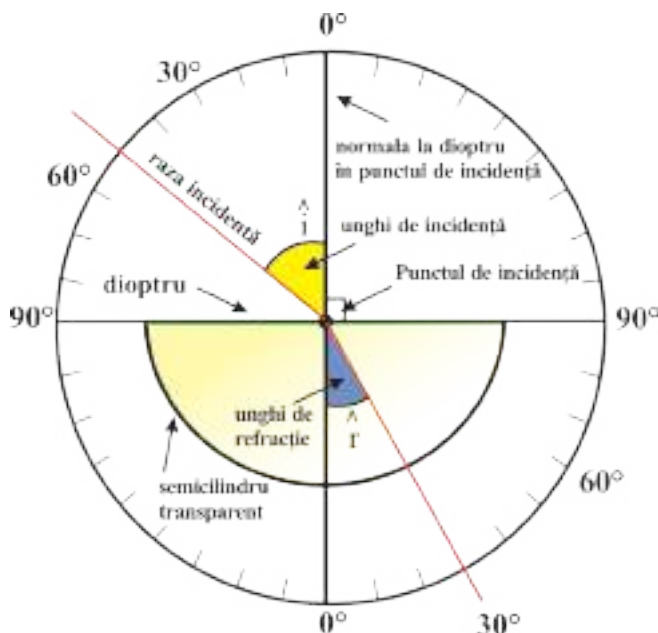


Figura III.35

**ATENȚIE:** axa de simetrie a semicilindrului trebuie să fie exact peste punctul de intersecție a axelor și punctul de incidență trebuie să fie exact pe axa de simetrie a semicilindrului. Numai în acest caz raza care iese prin suprafața curbă a semicilindrului nu va fi deviată și unghiul de refracție se va citi corect.

- Se modifică unghiul de incidență și se notează în caiet observațiile făcute.
- Se notează valorile unghiului de incidență și ale celui de refracție într-un tabel de date experimentale.
- Se completează tabelul de mai jos.  $n_1$  și  $n_2$  sunt indicii de refracție ai mediilor în care se află raza incidentă și respectiv raza refractată.

| Nr. det. | $i^\circ$ | $r^\circ$ | $\sin i$ | $\sin r$ | $\frac{n_1 \sin i}{n_2 \sin r}$ |
|----------|-----------|-----------|----------|----------|---------------------------------|
|          |           |           |          |          |                                 |

Din fotografiile făcute în timpul experimentului pot fi notate unele observații: o rază de lumină perpendiculară pe dioptru trece nedeviată dintr-un mediu în altul (figura III.36 a); la trecerea din aer în sticlă, unghiul de refracție este mai mic decât unghiul de incidență (figura III.36 b).

**B. Studiul refracției la trecerea luminii dintr-un mediu cu indice de refracție mai mare într-un mediu cu indice de refracție mai mic (din sticlă în aer)**

Se inversează sensul razei de lumină față de cazul A. Figurile III.36 c) și d) sunt fotografiile realizate în timpul experimentului B.

Se trimite o rază LASER, în planul suportului, astfel încât ea să străbată mai întâi suprafața curbă a semicilindrului și apoi să iasă prin dioptrul plan sticlă-aer. Trebuie îndeplinită condiția ca *direcția razei incidente să treacă exact prin axa de simetrie a semicilindrului*. Astfel, lumina nu va fi deviată la trecerea prin suprafața curbă a semicilindrului și unghiul de incidență se va citi corect.

Se citesc valorile unghiurilor de incidență și de refracție și se trec într-un tabel de forma celui de la punctul A.

Se notează, pe caiet, observațiile făcute.

Unele observații se pot face și din figurile III.36 c) și d). Astfel: la trecerea luminii din sticlă în aer unghiul de refracție este mai mare decât unghiul de incidență (figura III.36 c); dacă unghiul de incidență depășește o anumită valoare, nu mai există rază refractată (figura III.36 d).

*Reține observațiile și concluziile acestui experiment!*



Figura III.36 a)



Figura III.36 b)



Figura III.36 c)



Figura III.36 d)



### Reține!

- pentru  $i = 0^\circ$  (raza perpendiculară pe dioptru), lumina trece dintr-un mediu în altul fără să-și schimbe direcția;
- pentru  $i \neq 0^\circ$ , lumina își schimbă brusc direcția de propagare la trecerea prin dioptrul plan aer-sticlă sau sticlă-aer;
- raza refractată este de asemenea tangentă la suport (raza incidentă, raza refractată și normala la dioptrul plan în punctul de incidență sunt în planul suportului);

- la trecerea dintr-un mediu cu indice de refracție mai mic într-un mediu cu indice de refracție mai mare (din aer în sticlă), unghiul de refracție este mai mic decât unghiul de incidență, cu excepția cazului în care  $i = 0^\circ$ ;

- la trecerea dintr-un mediu cu indice de refracție mai mare într-un mediu cu indice de refracție mai mic (din sticlă în aer), unghiul de refracție este mai mare decât unghiul de incidență, cu excepția cazului în care  $i = 0^\circ$ ;

- raportul dintre  $\sin i$  și  $\sin r$  este o constantă caracteristică celor două medii transparente străbătute de lumină;

$$\frac{n_1 \sin i}{n_2 \sin r} = 1 \Rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \text{constant}$$

- unghiul de refracție ( $r$ ) nu este proporțional cu unghiul de incidență ( $i$ );
- atunci când lumina întâlnește dioptrul plan aer-sticlă, au loc simultan fenomenele de refracție și de reflexie;
- atunci când lumina întâlnește dioptrul plan sticlă-aer, au loc simultan fenomenele de refracție și de reflexie numai dacă unghiul de incidență este mai mic decât o anumită valoare;
- atunci când lumina cade pe dioptrul plan sticlă-aer sub un unghi de incidență mai mare decât o anumită valoare, nu se mai produce refracția luminii, are loc numai reflexia luminii (fenomen numit **reflexie totală**).

#### III.3.3. Reflexia totală

Privește cu atenție fotografiile redată în figura III.37 a) și b).

În ambele situații suprafața apei se comportă ca o oglindă.

În laboratorul de fizică, se poate face un experiment interesant cu o sursă de lumină aflată sub apă care emite fascicule de lumină în diferite direcții (figura III.38 a). Se observă că, în anumite situații, fasciculele suferă atât fenomenul de reflexie, cât și fenomenul de refracție, în timp ce, dacă unghiul de incidență depășește o anumită valoare, fasciculele refractate în aer dispar. Se obține astfel fenomenul de reflexie totală. În acest caz, suprafața apei se comportă ca o oglindă perfectă.



Figura III.37 a)



Figura III.37 b)



#### Definiție

**Fenomenul de reflexie totală** apare la suprafața de separație dintre două medii transparente atunci când refracția nu se mai poate produce și întreg fasciculul incident este reflectat (figura III.38. b).



Figura III.38 a)



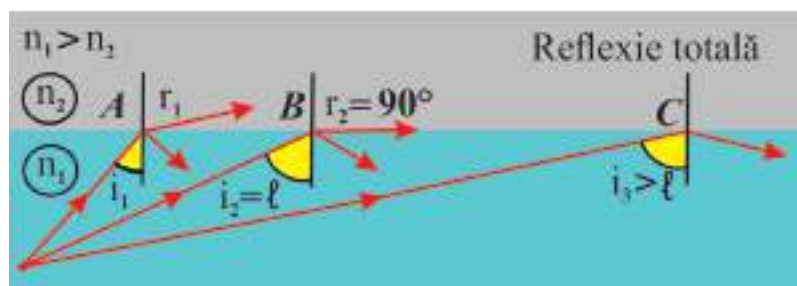


Figura III.38 b)

Urmărind razele trasate în figura III.38 b), vei înțelege care sunt condițiile necesare pentru a se produce acest fenomen.

*Prima condiție* pentru producerea fenomenului de reflexie totală este ca, atunci când există două medii transparente adiacente, raza incidentă să se propage în mediul cu indice de refracție mai mare ( $n_1 > n_2$ ). Astfel, raza refractată se depărtează de normală ( $r_1 > i_1$ ) – vezi refracția în punctul A din figura III.38 b).

*Odată cu creșterea unghiului de incidență, va crește și unghiul de refracție.* Există un unghi de incidență pentru care unghiul de refracție devine  $90^\circ$  (în punctul B din figura III.38 b).



### Definiție

Unghiul de incidență căruia îi corespunde un unghi de refracție de  $90^\circ$  se numește **unghi limită** ( $\ell$ ).

Ținând cont că  $i_2 = \ell$ ,  $r_2 = 90^\circ$ , obținem:  $\sin \ell = \frac{n_2}{n_1}$



### Reține!

Unghiul limită ( $\ell$ ) se calculează din relația:  $\sin \ell = \frac{n_2}{n_1}$

Unghiul limită are o valoare bine determinată pentru o pereche de medii transparente adiacente, el depinzând numai de indicii de refracție ai celor două medii.



### Observație

Dacă unghiul de incidență este egal cu unghiul limită ( $i = \ell$ ) atunci unghiul de refracție este de  $90^\circ$ , deci există rază refractată și nu apare reflexia totală.

Pentru unghiuri  $i > \ell$  nu mai apare raza refractată, iar raza incidentă se întoarce în mediul din care a venit.

**Reflexia totală** este fenomenul de reflexie în care toată energia luminii incidente se transmite luminii reflectate.



### Reține!

**Fenomenul de reflexie totală** se produce la suprafața de separație dintre două medii transparente adiacente atunci când:

1. raza incidentă se află în mediul cu indice de refracție mai mare ( $n_1 > n_2$ );
2. unghiul de incidență este mai mare decât unghiul limită:

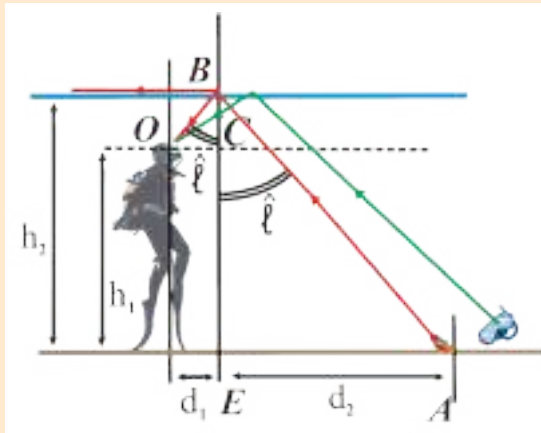
$$i > \ell$$



☑ **Problemă rezolvată**

Un scafandru aflat într-un bazin, privind spre suprafața orizontală a apei, observă că o parte din aceasta apare ca o oglindă, datorită fenomenului de reflexie totală. În această oglindă, el vede obiecte de pe fundul bazinului. Se cunosc: înălțimea la care se află ochii scafandruului față de fundul bazinului  $h_1 = 1,9$  m, adâncimea bazinului  $h_2 = 2,3$  m și indicele de refracție al apei  $n = \frac{4}{3}$ . Calculează la ce distanță, măsurată pe orizontală, se află obiectele văzute de scafandru prin reflexie totală.

**Rezolvare**



$$\sin \ell = \frac{1}{n} = \frac{3}{4}$$

$$\text{În } \triangle OBC: \operatorname{tg} \ell = \frac{OC}{BC} = \frac{d_1}{h_2 - h_1}$$

$$d_1 = (h_2 - h_1) \cdot \operatorname{tg} \ell$$

$$\text{Dar: } \operatorname{tg} \ell = \frac{\sin \ell}{\cos \ell} = \frac{\sin \ell}{\sqrt{1 - \sin^2 \ell}} = 1,13$$

$$\text{Deci: } d_1 = 0,4 \cdot 1,13 \text{ m} = 0,45 \text{ m}$$

$$\text{În } \triangle ABE: \operatorname{tg} \ell = \frac{EA}{BE} = \frac{d_2}{h_2}$$

$$d_2 = h_2 \cdot \operatorname{tg} \ell = 2,3 \cdot 1,13 \text{ m} = 2,6 \text{ m}$$

Obiectele văzute prin reflexie totală se află la distanța

$$d > d_1 + d_2 \Rightarrow d > 3,05 \text{ m}$$

**Indicații de rezolvare**

Desenează sistemul descris în problemă.

În figura alăturată, raza de lumină, care ajunge la ochiul scafandruului și este trasată cu roșu, corespunde unghiului limită.

Folosește relația din care se determină unghiul limită.

Razele de lumină pentru care  $i > \ell$  se reflectă pe suprafața apei în punctele situate la dreapta lui B. Astfel, suprafața apei de la dreapta lui B apare ca o oglindă, datorită fenomenului de reflexie totală.

Obiectele de pe fundul bazinului, care vor fi văzute de scafandru prin reflexie totală, se află la dreapta punctului A, deci  $d > d_1 + d_2$ .

Obiectul aflat în A nu este văzut prin reflexie totală.



**Activități de învățare și de autoevaluare**

1. Referitor la fenomenele de reflexie totală și refracție care pot să apară atunci când o rază de lumină întâlnește suprafața de separație dintre două medii este adevărată afirmația:

- ele se produc simultan atunci când raza incidentă este în mediul cu indicele de refracție mai mare;
- ele nu se produc niciodată simultan;
- ele se produc simultan atunci când raza incidentă este în mediul cu indicele de refracție mai mic;
- ele se produc simultan, dacă unghiul de incidență este mai mare decât unghiul limită;
- nicio variantă de răspuns nu este corectă.

2. O sursă punctiformă de lumină se află într-un lichid cu indicele de refracție  $\sqrt{2}$ . Două raze provenind de la sursă ajung pe dioptrul plan lichid-aer ( $n_{\text{aer}} = 1$ ) în punctele  $M$  și  $N$ . Unghiul de incidență în  $M$  este  $i_1 = 30^\circ$ , iar în  $N$ , este  $i_2 = 50^\circ$ .

- în  $M$  și  $N$  are loc numai reflexia luminii;
- în  $M$  și  $N$  are loc numai refracția luminii;
- în  $M$  și  $N$  au loc simultan reflexia și refracția luminii;
- în  $M$  au loc simultan reflexia și refracția luminii și în  $N$ , numai reflexia luminii;
- în  $M$  are loc numai reflexia luminii și în  $N$  au loc simultan reflexia și refracția luminii.

3. În interiorul unui lichid ( $n_{\text{lichid}} = \frac{2}{\sqrt{3}}$ ,  $n_{\text{aer}} = 1$ ), se află o sursă punctiformă de lumină la adâncimea de 10 cm. Pe suprafața lichidului plutește o placă circulară opacă, astfel încât centrul său se află pe verticala dusă prin sursa de lumină. Lumina provenită de la sursă nu poate ajunge la un observator, aflat într-o poziție oarecare în aer, dacă raza minimă a plăcii opace este:

| A    | B       | C     | D       | E       |
|------|---------|-------|---------|---------|
| 5 cm | 5,78 cm | 10 cm | 14,1 cm | 17,3 cm |

### III.3.4. Extindere: legile refracției, indicele de refracție

Din studiul experimental al refracției ai putut observa legile care guvernează acest fenomen.



#### Reține!

##### Legile refracției:

1. Raza incidentă, normala la suprafața de separație (la dioptru) în punctul de incidență și raza refractată sunt coplanare.

2. Raportul dintre sinusul unghiului de incidență ( $\sin i$ ) și sinusul unghiului de refracție ( $\sin r$ ) este o constantă caracteristică celor două medii străbătute de raza de lumină.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21} = \text{constant}$$

$n_{21}$  se numește **indicele de refracție relativ** al mediului 2 față de mediul 1 și se calculează din relația:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

**Legea a II-a a refracției** se scrie sub forma:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{sau} \quad n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

Din legea refracției se poate determina unghiul de refracție dacă se cunosc unghiul de incidență și indicii de refracție absoluți ai celor două medii.



#### Reține!

dacă  $\hat{i} = 0^\circ \Rightarrow \hat{r} = 0^\circ$  (figura III.39 a),  $\hat{r} < \hat{i}$  dacă  $n_2 > n_1$  (figura III.39 b) și  $\hat{r} > \hat{i}$ , dacă  $n_2 < n_1$  (figura III.39 c).

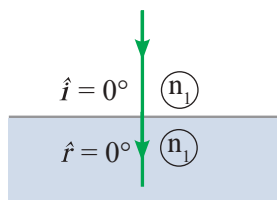


Figura III.39 a)

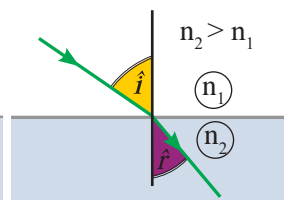


Figura III.39 b)

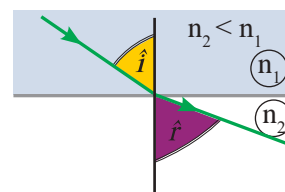


Figura III.39 c)

Cunoscând mersul razelor de lumină, se poate construi imaginea unui punct într-un dioptru plan.

În figura III.40 este prezentată construcția imaginii unei surse punctiforme  $S_1$  într-un dioptru plan atunci când se privește normal (perpendicular) pe dioptru. Imaginea ei este  $S_2$ .



#### Reține!

1. Imaginea unui punct-obiect aflat în apă și privit din aer este virtuală și se obține la o adâncime mai mică decât adâncimea la care se află obiectul (figura III.40 a).

2. Imaginea unui punct-obiect aflat în aer și privit din apă este virtuală și se obține la o înălțime mai mare decât înălțimea la care se află obiectul (figura III.40 b).

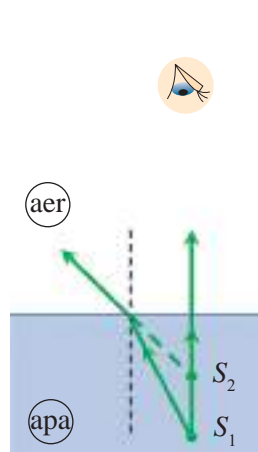


Figura III.40 a)

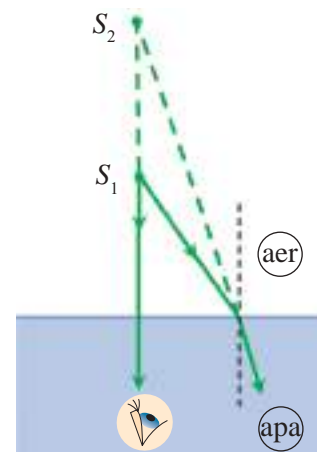


Figura III.40 b)

Proprietățile imaginii unui obiect aflat în apă și privit din aer explică observațiile experimentale din figura III.33 și figura III.34 (vezi pagina 107).



#### Curiozități

După cum știi, Pământul este înconjurat de atmosferă. Aceasta este un mediu transparent al cărui indice de refracție crește pe măsură ce distanța până la Pământ se micșorează. Din acest motiv, razele de lumină care vin de la Soare și ajung la Pământ au o traiectorie curbă, așa cum se vede în figura III.41. Aceasta face ca oamenii aflați pe Pământ să vadă o poziție aparentă a Soarelui (sau a stelelor de pe cer), care este deplasată față de poziția reală (figura III.41).

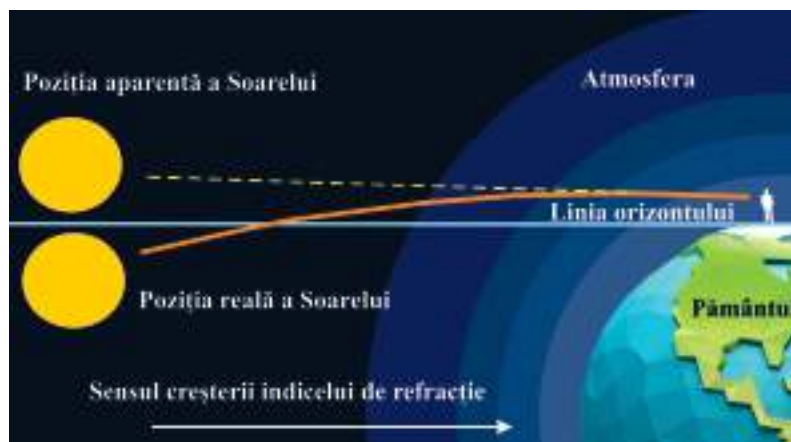
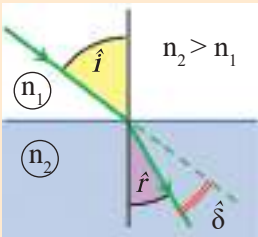


Figura III.41

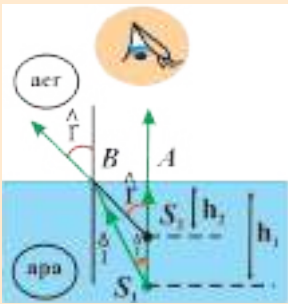
Distanța dintre poziția aparentă și cea reală a Soarelui este mai mare atunci când Soarele se află la orizont (la răsărit sau la apus). Deși noi vedem Soarele în apropierea liniei orizontului și deasupra ei, el este în realitate sub linia orizontului.

### ☑ Probleme rezolvate

1. O rază de lumină cade pe dioptrul plan dintre două medii sub un unghi de incidență de  $45^\circ$  și suferă prin refracție o deviație de  $15^\circ$ . Determină mărimea indicelui de refracție al celui de al II-lea mediu știind că raza incidentă se află în aer ( $n_1 = 1$ ).

| Rezolvare  | Indicații de rezolvare  |
|--|---|
|  $\hat{i} = \hat{r} + \hat{\delta} \Rightarrow \hat{r} = \hat{i} - \hat{\delta} = 30^\circ$ $n_1 \sin i = n_2 \sin r \Rightarrow n_2 = \frac{n_1 \sin i}{\sin r}$ $n_2 = \sqrt{2} = 1,41$ | <p>Reprezintă sistemul descris în problemă și trasează razele de lumină (observă că raza incidentă se află în aer, deci ea va trece cu siguranță într-un mediu cu indice de refracție mai mare (<math>n_2 &gt; n_1</math>)).</p> <p>Unghiul de deviație reprezintă unghiul dintre direcția razei incidente și direcția razei refractate luate în sensul lor de propagare (notat <math>\delta</math> pe desen).</p> <p>Aplicând noțiunile învățate la geometrie (unghiurile opuse la vârf sunt egale), calculează unghiul de refracție. Scrie legea refracției și calculează <math>n_2</math>.</p> |

2. O sursă punctiformă de lumină ( $S_1$ ) se află în apă ( $n_{apă} = 4/3$ ), la adâncimea  $h_1 = 80$  cm. La ce adâncime ( $h_2$ ) se va vedea imaginea sursei, atunci când este privită din aer ( $n_{aer} = 1$ ), pe direcție normală pe suprafața apei. Precizează caracteristicile imaginii.

| Rezolvare   | Indicații de rezolvare   |
|---|--|
|  $\text{În } \triangle ABS_1: \operatorname{tg} i = \frac{AB}{AS_1} = \frac{AB}{h_1} \Rightarrow h_1 = \frac{AB}{\operatorname{tg} i}$ $\text{În } \triangle ABS_2: \operatorname{tg} r = \frac{AB}{AS_2} = \frac{AB}{h_2} \Rightarrow h_2 = \frac{AB}{\operatorname{tg} r}$ $\text{Deci } \frac{h_1}{h_2} = \frac{AB}{\operatorname{tg} i} \cdot \frac{\operatorname{tg} r}{AB} = \frac{\operatorname{tg} r}{\operatorname{tg} i}$ <p>Pentru unghiuri mai mici decât <math>5^\circ</math> folosim aproximația <math>\operatorname{tg} i = \sin i</math> și <math>\operatorname{tg} r = \sin r</math> și astfel obținem:</p> $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\operatorname{tg} r}{\operatorname{tg} i} = \frac{\sin r}{\sin i} = \frac{n_{apă}}{n_{aer}}$ $\text{Deci } h_2 = h_1 \cdot \frac{n_{aer}}{n_{apă}} = 60 \text{ cm}$ <p>Imaginea obiectului aflat în apă și privit din aer este virtuală și se obține la o adâncime mai mică decât adâncimea la care se află obiectul.</p> | <p>Pentru construcția imaginii sursei punctiforme <math>S_1</math> se folosesc două raze de lumină care pornesc de la <math>S_1</math>, trec prin dioptrul plan apă-aer și ajung la ochiul observatorului.</p> <p>Atunci când obiectul este privit normal, la suprafața apei una dintre razele folosite pentru construcția imaginii este perpendiculară pe suprafața apei. Practic, a doua rază care pornește din <math>S_1</math> trebuie să fie foarte apropiată de normală pentru a intra în ochiul observatorului. Astfel unghiurile <math>i</math> și <math>r</math> sunt foarte mici.</p> <p>Imaginea (<math>S_2</math>) se obține la intersecția prelungirilor razelor refractate (vezi figura alăturată). Ea este virtuală și se formează la o adâncime mai mică decât adâncimea la care se află sursa <math>S_1</math>.</p> <p>Folosește un tabel cu valorile funcțiilor trigonometrice și compară valorile funcțiilor <math>\sin \alpha</math> cu <math>\operatorname{tg} \alpha</math> pentru unghiuri mai mici de <math>5^\circ</math>. Vei constata că cele două funcții au valori egale, până la primele trei zecimale, deci se poate folosi aproximația</p> $\operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha \text{ pentru } \alpha < 5^\circ.$ <p>Folosește-ți cunoștințele de la geometria plană și determină adâncimea la care se obține imaginea <math>S_2</math>.</p> |



### Activități de învățare și de autoevaluare

Rezolvă următoarele probleme și precizează cărei litere îi corespunde răspunsul corect:

1. O rază de lumină venind din aer ( $n_{\text{aer}} = 1$ ) întâlnește suprafața de separație aer-sticlă, făcând cu aceasta un unghi de  $30^\circ$ , unghiul de refracție fiind de  $30^\circ$ . Valoarea aproximativă a vitezei de propagare a luminii în sticlă este:

| A                                 | B                                 | C                                 | D                                 | E                            |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| $\sqrt{2} \cdot 10^8 \text{ m/s}$ | $\sqrt{3} \cdot 10^8 \text{ m/s}$ | $\sqrt{5} \cdot 10^8 \text{ m/s}$ | $\sqrt{6} \cdot 10^8 \text{ m/s}$ | $1,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ |

2. O rază de lumină venind din mediul 1 cu  $n_1 = 2$  cade pe dioptrul plan dintre mediul 1 și mediul 2 ( $n_2 = \sqrt{2}$ ) sub un unghi de incidență de  $30^\circ$ . Unghiul de deviație este:

| A          | B          | C          | D          | E         |
|------------|------------|------------|------------|-----------|
| $15^\circ$ | $30^\circ$ | $45^\circ$ | $60^\circ$ | $5^\circ$ |

3. O sursă punctiformă de lumină se află în aer ( $n_{\text{aer}} = 1$ ), la înălțimea de 45 cm. Privită din apă ( $\frac{n_{\text{aer}}}{n_{\text{apă}}} = \frac{4}{3}$ ), pe direcție normală pe suprafața apei, ea se vede la înălțimea de:

| A     | B     | C     | D      | E     |
|-------|-------|-------|--------|-------|
| 90 cm | 60 cm | 40 cm | 135 cm | 50 cm |

4. Un scafandru aflat în apă ( $n_{\text{apă}} = 4/3$ ) privește soarele aflat la răsărit (pe linia orizontului). Raza de lumină care ajunge în ochiul scafandrului, trecând prin dioptrul plan aer-apă, face cu verticala dusă prin punctul de incidență un unghi  $\alpha$ , care se poate calcula din relația:

| A                   | B                   | C                   | D                   | E                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| $\sin \alpha = 3/4$ | $\sin \alpha = 1/2$ | $\sin \alpha = 2/3$ | $\sin \alpha = 4/5$ | $\sin \alpha = 0,173$ |

### III.3.5. Aplicații practice: fibra optică, prisma cu reflexie totală

#### Fibra optică

Lumina poate fi ghidată printr-un jet îngust de apă ca urmare a fenomenului de reflexie totală.



### Activitate experimentală

#### Studiul fenomenului de refracție

**Materiale necesare:** un flacon din material plastic de 2 litri, apă, LASER, vas pentru colectat apa.

• **Modul de lucru:** Se practică un orificiu în peretele lateral al flaconului, cam la 5 cm deasupra bazei lui.

Se umple flaconul cu apă și se înșurubează dopul. Dacă dopul este înșurubat, apa nu curge prin orificiu; dacă dopul se deșurubează puțin, apa începe să curgă.

Se așază apoi un LASER în apropierea peretelui lateral al flaconului, diametral opus față de orificiu, astfel încât raza orizontală emisă de LASER să ajungă la orificiu. Lasă apa să curgă prin orificiu, în timp ce raza LASER luminează orificiul. Fotografia din figura III.42 a) arată că, în acest experiment, raza LASER urmărește traiectoria jetului de apă.

Rezultatul experimental observat se explică prin faptul că lumina suferă mai multe reflexii totale în timp ce se află în interiorul jetului de apă (figura III.42 b).



Figura III.42 a)

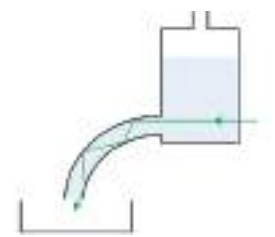


Figura III.42 b)

**Fibra optică** este construită pe baza aceluiași principiu descris în experimentul anterior. Ea este formată dintr-un *miez* din sticlă sau plastic (cu diametrul de aproximativ  $8\ \mu\text{m}$ , mai subțire decât un fir de păr), o *teacă* (cu diametrul de aproximativ  $125\ \mu\text{m}$ ) și mai multe *straturi de protecție* (figura III.43).

Indicele de refracție al miezului este mai mare decât cel al tecii, astfel că, în interiorul miezului, se produce reflexia totală a luminii. Transferul de date prin fibra optică se produce cu o viteză foarte mare, ajungând până la 99,7% din viteza luminii.

Fibra optică are numeroase aplicații practice în medicină (endoscopul) și în electronică (fibra optică fiind cea mai nouă tehnologie pentru accesul la Internet, pentru transferul de date etc.). În imaginile din figura III.44, sunt prezentate câteva din aplicațiile fibrei optice.

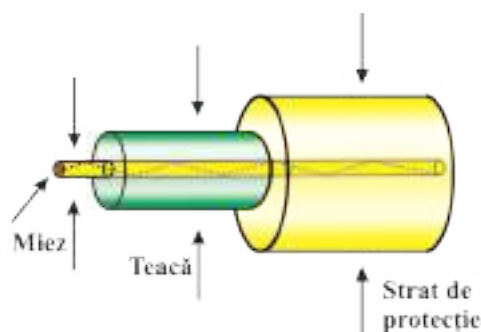


Figura III.43



### Activități de învățare

1. Realizează un proiect cu tema:  
*Rolul fibrei optice într-un endoscop.*

Lampă cu fibră optică



Cablu audio cu fibră optică



Figura III.44

### Prisma cu reflexie totală

Un mediu transparent, mărginit de două suprafețe plane (dioptri plani), care fac între ele un unghi diedru (figura III.45), reprezintă o *prismă optică*.

Dreapta după care se intersectează cele două plane se numește *muchia prismei*, iar unghiul dintre cele două plane se numește *unghiul prismei*. O secțiune în prismă, perpendiculară pe muchia prismei, se numește *secțiunea principală* a prismei (figura III.45).

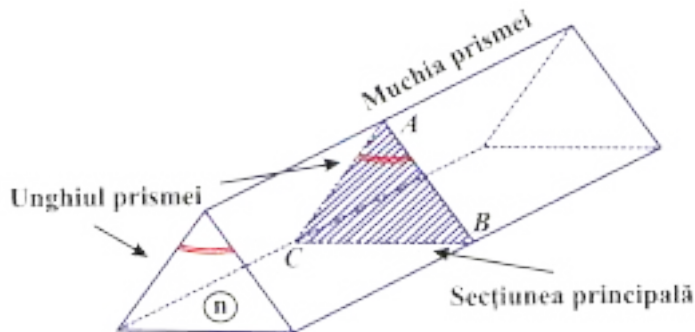


Figura III.45

În figura III.46, este trasat mersul unei raze de lumină în secțiunea principală a unei prisme din sticlă, aflată în aer. Am notat cu  $n_1$  indicele de refracție al mediului în care se află prisma (aer) și  $n_2$  indicele de refracție al mediului prismei. Lumina suferă refracție la intrarea în prismă, în  $M$ , și la ieșirea din prismă, în  $N$ . Este posibil ca în  $N$  să se producă reflexie totală dacă unghiul de incidență pe fața  $AC$  îndeplinește condiția  $\hat{i} > \hat{\ell}$ .

Un exemplu de prismă în care se poate produce reflexia totală este o prismă a cărei secțiune principală este un triunghi dreptunghic isoscel, care este confecționată din sticlă de crown ( $n_2 = 1,52$ ) și se află în aer ( $n_1 = 1$ ). În acest caz, se poate calcula unghiul limită:

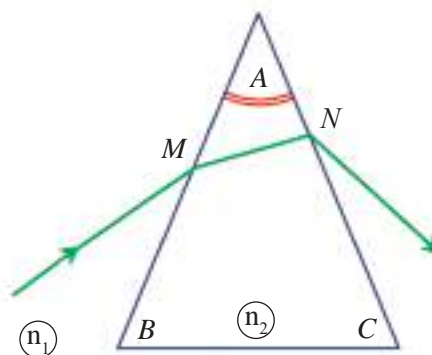


Figura III.46



$$\sin \ell = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1,51} = 0,6579 \Rightarrow \hat{\ell} \approx 41^\circ$$

În figura III.47 poți vedea cum o parte din razele incidente, care cad pe „fața catetă” a prisme, suferă refracția pe „fața ipotenuză”, iar altele suferă fenomenul de reflexie totală.

În practică, sunt folosite prismele cu reflexie totală la binoclu și la periscop. Ele sunt astfel construite încât mersul razelor de lumină să fie cel reprezentat în figura III.48 a), la periscop, sau III.48 b), la binoclu. Atât la periscop, cât și la binoclu, se folosesc două prismele cu reflexie totală.

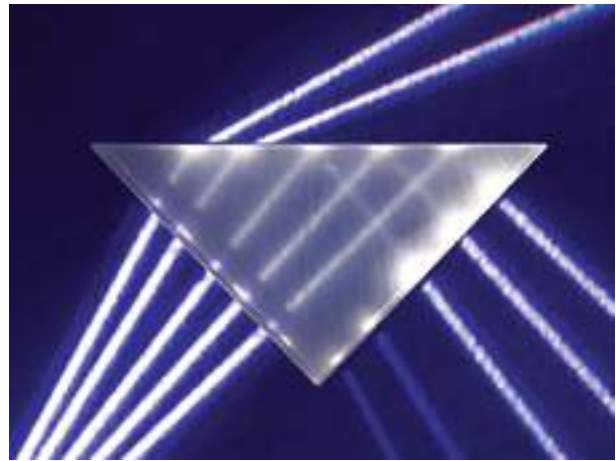


Figura III.47

## III.4. Lentile subțiri

### III.4.1. Identificarea experimentală a tipurilor de lentile (convergente, divergente)

Lentilele și oglinzile sunt unele dintre cele mai familiare și răspândite dispozitive optice.

Refracția este fenomenul care stă la baza funcționării lentilelor.

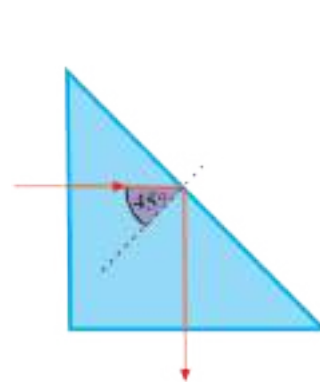


Figura III.48 a)

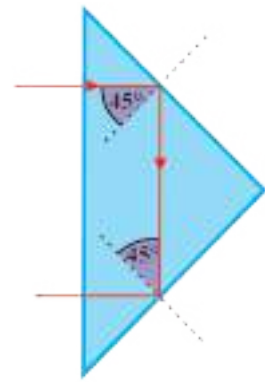


Figura III.48 b)



#### Definiție

**Lentila** este un mediu transparent și omogen mărginit de două suprafețe, din care cel puțin una nu este plană. Suprafețele curbe care mărginesc lentilele obișnuite sunt sferice.



#### Definiție

La o **lentilă subțire**, cele două suprafețe care o mărginesc sunt suficient de apropiate, astfel încât se poate neglija distanța dintre ele.



#### Activitate experimentală

Așază o lentilă pe un text și ridic-o puțin.

- dacă literele privite prin lentilă devin din ce în ce mai mari, atunci ea este o **lentilă convergentă**;
- dacă literele privite prin lentilă devin din ce în ce mai mici, atunci ea este o **lentilă divergentă**;

Schematic, o lentilă subțire convergentă este reprezentată în figura III.49 a), iar una divergentă este reprezentată în figura III.50 a).

Lentilă convergentă

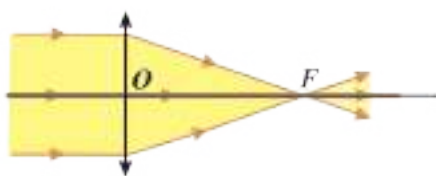


Figura III.49 a)

Lentile convergente de sticlă în aer

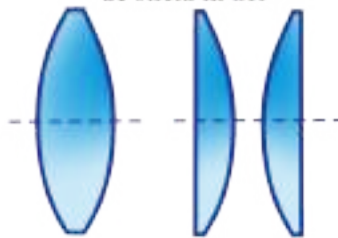


Figura III.49 b)

Lentilă divergentă

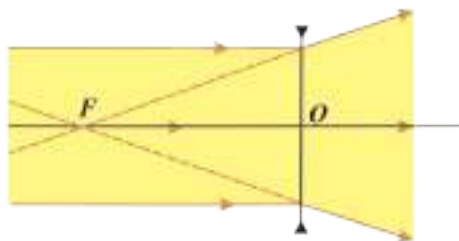


Figura III.50 a)

Lentile divergente de sticlă în aer

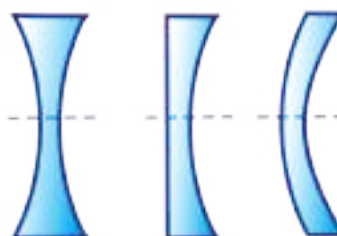


Figura III.50 b)



### Reține!

- Principala caracteristică a unei lentile convergente este aceea că transformă un fascicul incident paralel într-un fascicul convergent (figura III.49 a).
- În aer, lentilele convergente sunt mai groase la mijloc și mai subțiri la capete (figura III.49 b)
- Principala caracteristică a unei lentile divergente este aceea că transformă un fascicul incident paralel într-un fascicul divergent (figura III.50 a).
- În aer, lentilele divergente sunt mai subțiri la mijloc și mai groase la capete (figura III.50 b).

Tipul lentilei depinde de forma ei, de natura materialului din care este confecționată și de natura mediului în care se află aceasta.

Astfel, o lentilă din sticlă, în aer, mai groasă la mijloc și mai subțire la capete, este o lentilă convergentă, dar o lentilă care are aceeași formă, de aer, în apă, este o lentilă divergentă (figura III.51)

### III.4.2. Identificarea experimentală a caracteristicilor fizice ale lentilelor subțiri: focar, poziție imagine

#### Elementele unei lentile

Centrele de curbură  $C_1$  și  $C_2$  sunt centrele sferelor din care fac parte suprafețele care mărginesc lentila (figura III.52).

Axa optică principală este dreapta care trece prin centrele de curbură  $C_1$  și  $C_2$  (figura III.52).

Centrul optic  $O$  este un punct situat în interiorul lentilei, pe axa optică principală, care are proprietatea că orice rază de lumină ce trece prin el nu este deviată de lentilă (figura III.52).

Bula de aer în apă

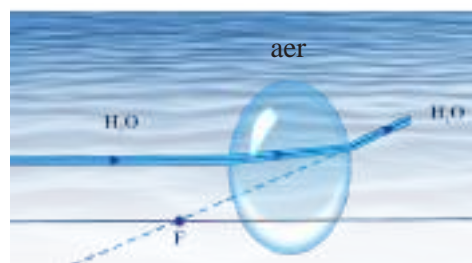
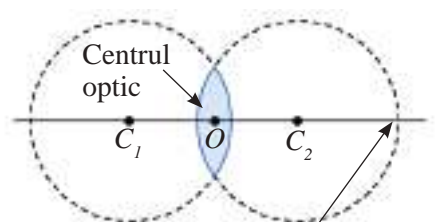


Figura III.51



Axa optică principală

Figura III.52

Un fascicul incident paralel cu axa optică principală a unei lentile convergente este transformat de lentilă într-un fascicul convergent ale cărui raze se întâlnesc într-un punct numit **focarul principal al lentilei** (figura III.53 a).

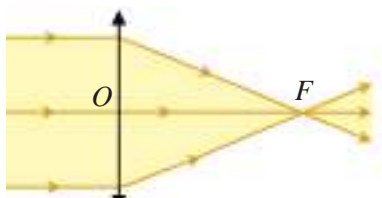


Figura III.53 a)

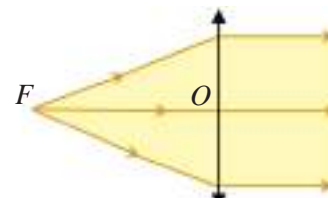


Figura III.53 b)

Aplicând principiul reversibilității razei de lumină, vom putea afirma că: atunci când o sursă punctiformă de lumină se află în focarul principal al lentilei convergente, fasciculul refractat de lentilă va fi paralel cu axa optică principală a lentilei (figura III.53 b).

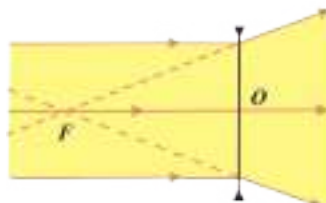


Figura III.54 a)

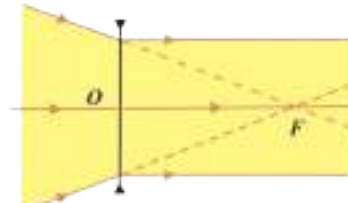


Figura III.54 b)

O **lentilă divergentă** transformă un fascicul incident, paralel cu axa optică principală, într-un fascicul divergent. Punctul în care se întâlnesc prelungirile razelor din fasciculul divergent reprezintă **focarul principal al lentilei divergente** (figura III.54 a).

Aplicând principiul reversibilității razei de lumină, vom putea afirma că: dacă prelungirile unui fascicul convergent incident se întâlnesc în focarul principal al lentilei divergente, fasciculul refractat de lentilă este paralel cu axa optică principală (figura III.54 b).

Distanța de la focar la centrul optic al unei lentile se numește **distanță focală** (notată  $f$ ).



#### Activitate experimentală

##### Determinarea distanței focale a unei lentile

##### Materiale necesare:

► din trusa de fizică se folosesc trei lasere, secțiunea unei lentile convergente, a unei lentile divergente, riglă și creion. (figura III.55);

##### • Modul de lucru:

Așază laserele lipite unul de altul astfel încât să producă un fascicul paralel de raze.

Trimite raza centrală a fasciculului prin centrul optic (astfel încât ea să nu fie deviată de lentilă) și perpendiculară pe axa lentilei.

Măsoară distanța focală  $f$ .

Repetă experimentul de mai multe ori și trece valorile obținute pentru distanța focală ( $f$ ) într-un tabel de date experimentale:



Figura III.55



Figura III.56

| Nr. det. | $f$ (cm) | $f_{\text{mediu}}$ (cm) | $\Delta f$ (cm) | $(\Delta f)_{\text{mediu}}$ |
|----------|----------|-------------------------|-----------------|-----------------------------|
|          |          |                         |                 |                             |

Scrie rezultatul măsurărilor făcute:

$$f = f_{\text{mediu}} \pm (\Delta f)_{\text{mediu}}$$

Rotește lentila cu  $180^\circ$  și repetă experimentul. Măsoară din nou distanța focală  $f$ .

Înlocuiește lentila convergentă cu o lentilă divergentă și, sub lentilă, pune o foaie de hârtie A4 (figura III.56). Efectuează următoarele operații:

- trasează conturul lentilei cu creionul;
- cu ajutorul creionului și al unei rigle, prelungește razele fascicului refractat de lentilă;
- determină poziția focarului principal la intersecția prelungirilor razelor refractate;
- determină distanța focală și trece valorile obținute într-un tabel de date;
- scrie rezultatul măsurătorilor făcute;
- rotește lentila cu  $180^\circ$  și repetă experimentul.

*Determinarea distanței focale a unei lentile în formă de disc*

Cu o **lentilă convergentă** se proiectează imaginea unei surse foarte îndepărtate (Soarele sau un bec) pe ecran (figura III.57 a). Sursa este considerată la infinit dacă distanța până la lentilă este mult mai mare decât distanța focală a lentilei. În acest caz, fasciculul de lumină provenind de la sursă este practic paralel, iar imaginea sursei se obține în focar.



Figura III.57 a)



Figura III.57 b)

**Lentila divergentă** luminată de o sursă îndepărtată (practic la infinit) se așază în apropierea unui ecran. Se observă formarea unui disc luminos (figura III.57. b). Măsurând diametrul lentilei ( $D_1$ ), a discului luminos de pe ecran ( $D_2$ ) și distanța de la lentilă la ecran ( $d$ ) (figura III.58. b), se poate determina distanța focală a lentilei divergente.

Măsoară distanța de la lentilă la ecran, aceasta fiind distanța focală  $f$  (figura III.58. a).

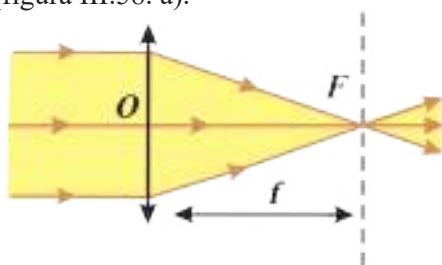


Figura III.58 a)

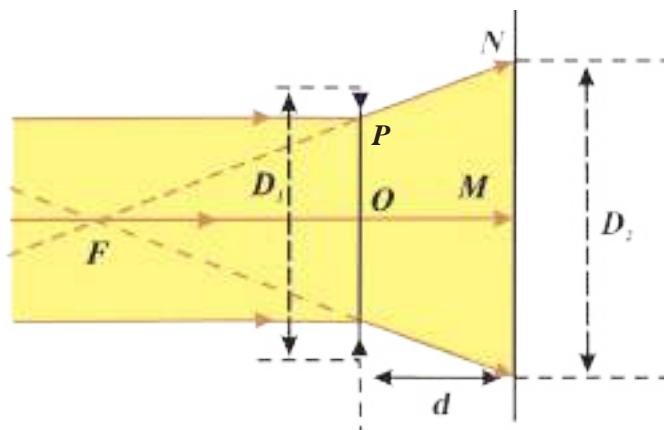


Figura III.58 b)

În figura III.58 b), se observă că:

$$\triangle FOP \sim \triangle FMN \Rightarrow \frac{\frac{D_1}{2}}{\frac{D_2}{2}} = \frac{FO}{FM} \Rightarrow \frac{D_1}{D_2} = \frac{f}{f+d}$$

Făcând calculele obținem:

$$f = \frac{D_1 \cdot d}{D_2 - D_1}$$

Se repetă experimentul pentru diferite distanțe lentilă-ecran și se notează valorile  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $d$ , și  $f$  într-un tabel. Se prelucrează datele experimentale conform metodei cunoscute.



#### Reține!

O lentilă (convergentă sau divergentă) are două focare principale așezate pe axa optică principală, de o parte și de alta a lentilei, la distanțe egale de centrul optic.

**Focarele lentilei convergente** sunt **reale**.

**Focarele lentilei divergente** sunt **virtuale**.

Imaginea unui obiect într-o **lentilă convergentă** poate fi reală sau virtuală, micșorată sau mărită și poate fi răsturnată sau dreaptă (figura III.59).

Imaginea unui obiect într-o **lentilă divergentă**

este întotdeauna virtuală, dreaptă și mai mică decât obiectul (figura III.60).

În laboratorul de Fizică sau acasă, poți obține și tu diferite imagini ale unui obiect printr-o lentilă convergentă sau divergentă.

Alege ca obiect filamentul unui bec cu incandescență care luminează (becul nu trebuie să lumineze foarte puternic – poate fi un bec de 12 V, alimentat la o tensiune de 10 V). Cu o lentilă convergentă, proiectează imaginea filamentului becului pe un ecran (perete), pentru diferite poziții ale becului față de lentilă. Vei obține pe ecran imagini micșorate sau mărite și răsturnate. Privește scrisul dintr-o carte printr-o lentilă convergentă și apoi prin una divergentă. Notează observațiile făcute.

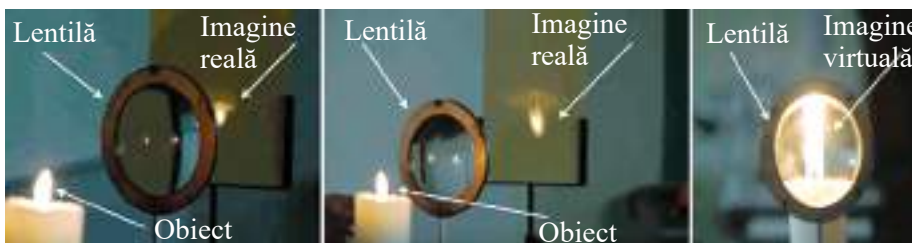


Figura III.59



Figura III.60

### III.4.3. Construcția geometrică a imaginilor prin lentile subțiri

Construcția imaginilor unui obiect într-o lentilă convergentă.

Din lecțiile anterioare ai putut deduce proprietățile lentilei convergente.

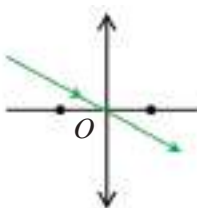


Figura III.61 a)

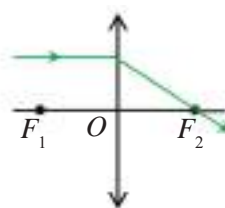


Figura III.61 b)

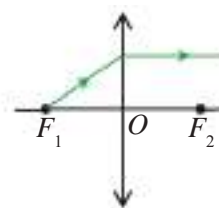


Figura III.61 c)



#### Reține!

- O rază care trece prin centrul optic al lentilei nu este deviată de lentilă (figura III.61 a).
- O rază incidentă paralelă cu axa optică principală a lentilei este deviată de lentilă prin focarul principal (figura III.61 b);
- O rază incidentă care trece prin focarul principal al lentilei este deviată de lentilă paralel cu axa optică principală (figura III.61 c).



În continuare, vom construi geometric imaginea obiectului luminos  $A_1B_1$  (obiect real) printr-o lentilă convergentă subțire. Vom considera cazul simplu în care obiectul este perpendicular pe axa optică principală al lentilei. Experimental, am observat că imaginea  $A_2B_2$  prin lentilă este tot perpendiculară pe axa optică principală. Astfel, este suficient să construim punctul-imagine  $A_2$  al punctului-obiect  $A_1$  și apoi să construim imaginea obiectului  $A_2B_2$  perpendiculară pe axa optică principală a lentilei. Se trasează două raze de lumină care pornesc din punctul-obiect  $A_1$  (cele din figura III.61. a) și b) care, după ce sunt deviate de lentilă, se întâlnesc în punctul-imagine  $A_2$ .



### Reține!

Imaginea unui obiect într-o lentilă convergentă este:

- reală, răsturnată și mai mică decât obiectul, dacă obiectul se află dincolo de dublul distanței focale (figura III.62. a);
- reală, răsturnată și mai mare decât obiectul, dacă obiectul se află între focar și dublul distanței focale (figura III.62. b);
- virtuală, dreaptă și mai mare decât obiectul, dacă obiectul se află între focar și centrul optic (figura III.62. c).

În lecțiile anterioare ai putut observa proprietățile unei lentile divergente subțiri.



### Reține!

- O rază care trece prin centrul optic al lentilei divergente nu este deviată de lentilă (figura III.63 a).
- O rază incidentă, paralelă cu axa optică principală a lentilei divergente, este deviată de lentilă astfel încât prelungirea ei trece prin focarul principal (figura III.63 b).
- O rază incidentă a cărei prelungire trece prin focarul principal al lentilei divergente este deviată de lentilă paralel cu axa optică principală (figura III.63 c).

Caracteristicile imaginii unui obiect printr-o lentilă divergentă se păstrează indiferent de poziția obiectului față de lentilă.



### Reține!

Imaginea unui obiect într-o lentilă divergentă este virtuală, dreaptă și mai mică decât obiectul indiferent de poziția obiectului față de lentilă.

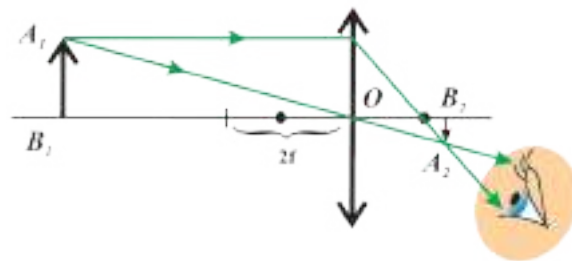


Figura III.62 a)

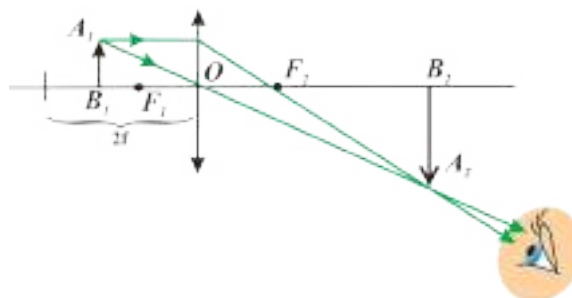


Figura III.62 b)

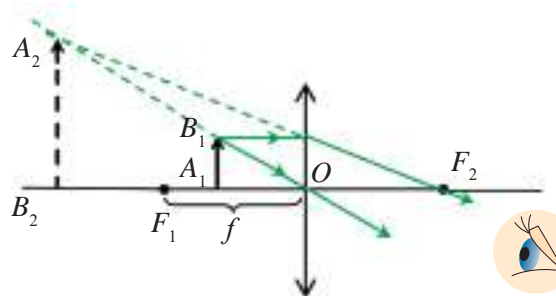


Figura III.62 c)

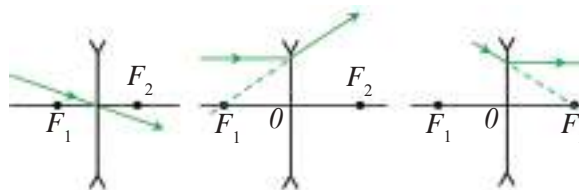


Figura III.63 a) Figura III.63 b) Figura III.63 c)

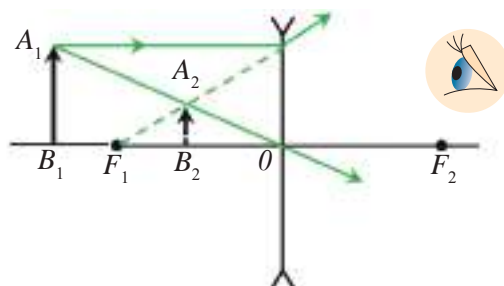


Figura III.64





### Curiozități

Un pahar plin cu apă se comportă ca o lentilă; din acest motiv, o săgeată privită prin pahar își schimbă sensul.

### III.4.4. Extindere: determinarea formulelor lentilelor subțiri – puncte conjugate, mărire liniară transversală, folosind elemente de geometrie plană

#### Notatii și convenție de semn

Urmărește cu atenție figura III.65.

Pentru a stabili notațiile pe care le vom utiliza în continuare, se folosește un sistem de axe  $xOy$  (figura III. 65). Axa  $Ox$  coincide cu axa optică principală a lentilei iar axa  $Oy$  trece prin centrul optic al lentilei.

**Sensul pozitiv al axei  $Ox$  este sensul razei incidente pe lentilă, iar sensul pozitiv al axei  $Oy$  este deasupra axei  $Ox$  (în sus).**

Conform acestei convenții (figura III.65), lentila împarte spațiul în două regiuni: la dreapta lentilei,  $x > 0$ , iar la stânga lentilei,  $x < 0$ .

Punctul-obiect  $A_1$  are coordonatele  $x_1$  și  $y_1$  (notăm  $A_1(x_1, y_1)$ ), iar punctul-imagine  $A_2$  are coordonatele  $x_2$  și  $y_2$  (notăm  $A_2(x_2, y_2)$ ).

Semnele coordonatelor vor fi:  $x_1 < 0$ ,  $y_1 > 0$  și  $x_2 > 0$ ,  $y_2 < 0$ , unde:

- $x_1 < 0$  pentru obiectul real;
- $x_2 > 0$  pentru imagine reală;
- $x_2 < 0$  pentru imagine virtuală.

**Distanțele sunt întotdeauna pozitive și ele se exprimă în funcție de modulele coordonatelor.** Astfel:

$$B_1O = |x_1| = -x_1, B_2O = |x_2| = x_2 \text{ și } A_1B_1 = |y_1| = y_1, A_2B_2 = |y_2| = -y_2 \text{ sau}$$

$$B_1B_2 = |x_1| + |x_2| = -x_1 + x_2$$

**Distanțele focale ale lentilelor convergente sunt pozitive.** Astfel, pentru figura III.65:

$$F_1O = F_2O = f$$

**Distanțele focale ale lentilelor divergente sunt negative.** Astfel, în figura III.64, în care lentila este divergentă, vom scrie:  $F_1O = F_2O = |f| = -f$

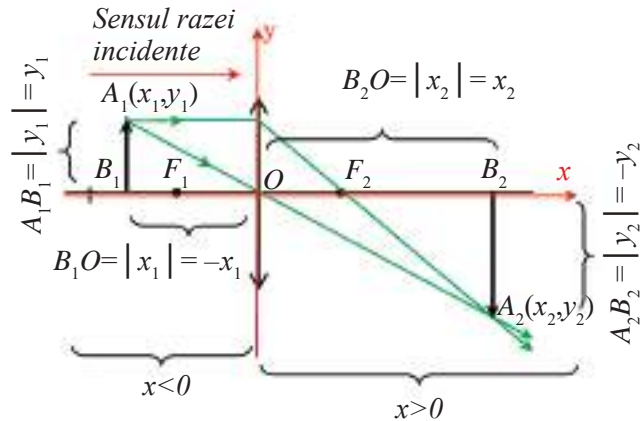


Figura III.65



### Definiție

Mărimea fizică egală cu inversul distanței focale se numește **convergență** ( $C$ )

$$C = \frac{1}{f}$$

Unitatea de măsură pentru convergență este **dioptria** ( $\delta$ ).

$$[C]_{SI} = \frac{1}{[f]_{SI}} \Rightarrow \delta = \frac{1}{m} = m^{-1}$$

Pentru lentilele convergente,  $C > 0$ , iar pentru cele divergente,  $C < 0$ .

### Formula punctelor conjugate la lentile subțiri.

În figura III.66,  $A_1$  este punct-obiect, iar  $A_2$  este punct-imagine. Aplicând principiul reversibilității razelor de lumină,  $A_2$  devine obiect și  $A_1$  devine imagine.

Cele două puncte se numesc puncte conjugate în sensul că  $A_2$  este imaginea lui  $A_1$  și invers.

În figura III.66 se vede că  $\Delta A_1 B_1 F_1 \sim \Delta N O F_1$

$$\frac{ON}{A_1 B_1} = \frac{F_1 O}{F_1 B_1} \Rightarrow \frac{-y_2}{y_1} = \frac{f}{|x_1| - f} = \frac{f}{-x_1 - f} \quad (\text{III.1})$$

și  $\Delta A_2 B_2 F_2 \sim \Delta F_2 O M$

$$\frac{A_2 B_2}{OM} = \frac{F_2 B_2}{F_2 O} \Rightarrow \frac{-y_2}{y_1} = \frac{|x_2| - f}{f} = \frac{x_2 - f}{f} \quad (\text{III.2})$$

Din formulele (III.1) și (III.2), se deduce că:

$$\frac{f}{-x_1 - f} = \frac{x_2 - f}{f} \quad (\text{III.3})$$

Din (III.3), se obține o relație pe care o înmulțim cu  $(1/fx_1 x_2)$  adică  $x_1 f - x_2 f = x_1 x_2 / \frac{1}{fx_1 x_2}$  (III.4)

Relația finală este:

$$\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} = \frac{1}{f} \quad (\text{III.5})$$

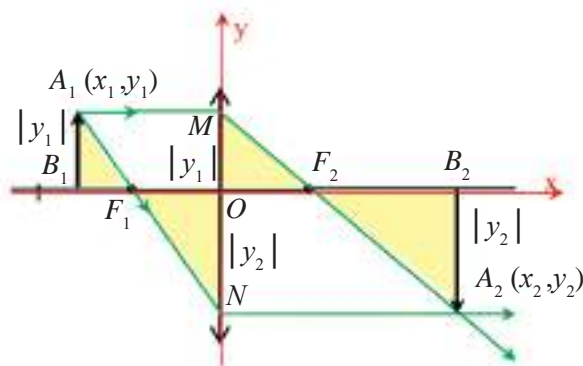


Figura III.66



### Reține!

Formula punctelor conjugate a lentilelor subțiri este:

$$\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} = \frac{1}{f}$$

unde  $x_1$  și  $x_2$  sunt abscisele punctelor conjugate și  $f$  este distanța focală a lentilei.

### Mărirea liniară transversală ( $\beta$ )



### Definiție

**Mărirea liniară transversală** ( $\beta$ ) este mărimea fizică egală cu raportul dintre ordonata punctului imaginii ( $y_2$ ) și ordonata punctului obiect ( $y_1$ ).

$$\beta = \frac{y_2}{y_1}$$

Ea este o mărime adimensională

$$([\beta]_{SI} = 1)$$

**Convenție de semn:**  $\beta > 0$ , dacă imaginea este dreaptă ( $y_1$  și  $y_2$  au același semn) și  $\beta < 0$ , dacă imaginea este răsturnată ( $y_1$  și  $y_2$  au semne diferite).

În figura III.67 se observă că  $\Delta A_2B_2O \sim \Delta A_1B_1O$   
Scriem rapoartele de asemănare:

$$\frac{A_2B_2}{A_1B_1} = \frac{OB_2}{OB_1} \Rightarrow \frac{|y_2|}{|y_1|} = \frac{|x_2|}{|x_1|} \Rightarrow \frac{-y_2}{y_1} = \frac{x_2}{-x_1}$$



### Reține!

Pentru mărirea liniară transversală se pot scrie relațiile:

$$\beta = \frac{y_2}{y_1} = \frac{x_2}{x_1}$$

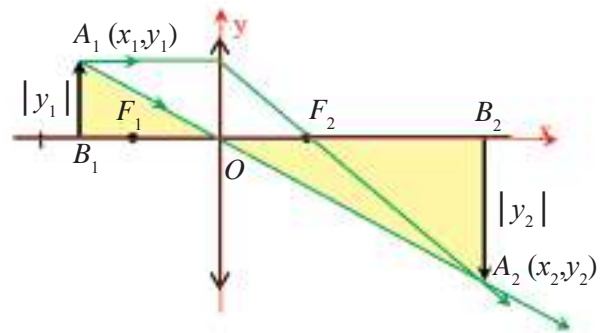
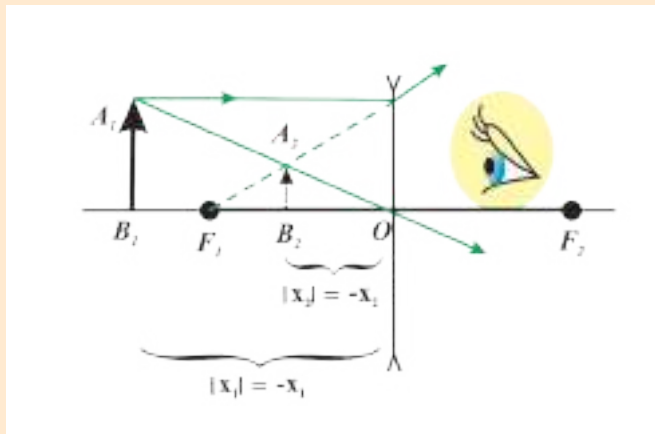


Figura III.67

### ☑ Probleme rezolvate

1. La 30 cm în fața unei lentile este așezat un obiect liniar luminos, perpendicular pe axa optică principală a lentilei. Imaginea obținută este virtuală, situată la 15 cm de lentilă. Calculează distanța focală a lentilei și precizează tipul ei.

#### Rezolvare



Datele problemei:

$$x_1 = -30 \text{ cm}; x_2 = -15 \text{ cm}$$

(ambele trebuie să fie negative, conform imaginii de mai sus și în conformitate cu convenția de semn folosită)

Formule și calcule

$$\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} = \frac{1}{f}$$

Obținem  $f = -30 \text{ cm}$ .

Compararea rezultatelor numerice cu figura

Am obținut  $f < 0$ , ceea ce corespunde unei lentile divergente, la fel ca în figura de mai sus.

#### Indicații de rezolvare

##### Important

La rezolvarea problemelor în care se folosesc lentile, este bine să parcurgi următoarele etape:

1. Construiești figura conform situației date de problemă.
2. Scrie datele problemei în conformitate cu convenția de semn folosită.
3. Scrie formulele și apoi efectuează calculele numerice.
4. Compară rezultatele numerice obținute cu figura și verifică corectitudinea rezultatelor.

##### În cazul problemei propuse:

Revezi figurile III.62 c) și figura III.64. Vei observa că, la lentila divergentă, imaginea este între obiect și lentilă, așa cum arată și datele problemei.

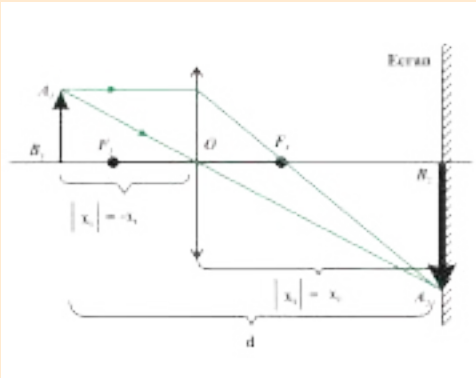
Scrie formula punctelor conjugate.

Efectuează calculele numerice.

Compară rezultatul numeric cu figura problemei.

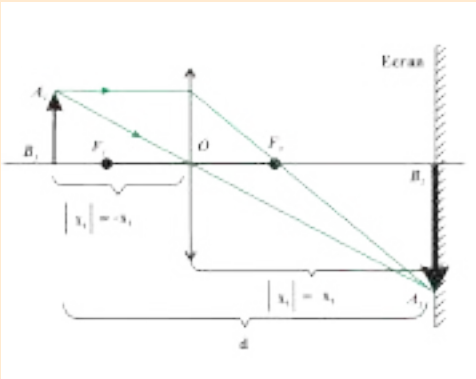
2. Imaginea unui obiect, aflat la 30 cm de o lentilă, este proiectată pe un ecran aflat la 90 cm de obiect.

Calculează distanța focală a lentilei.

| Rezolvare   | Indicații de rezolvare  |
|---|---|
|  <p>Obții: <math>f = 20</math> cm</p> <p>Compararea rezultatelor numerice cu figura</p> <p>Din calcule, am obținut <math>f &gt; 0</math> și <math> x_1  &gt; f</math> ceea ce corespunde figurii de mai sus.</p> | <p><i>Datele problemei</i><br/> <math>x_1 = -30</math> cm; <math>d = 90</math> cm</p> <p><i>Formule și calcule</i><br/> <math>d =  x_1  +  x_2  \Rightarrow</math><br/> <math>d = -x_1 + x_2 \Rightarrow x_2 = d + x_1</math><br/> <math>x_2 = 90</math> cm <math>- 30</math> cm <math>= 60</math> cm</p> $\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} = \frac{1}{f}$ <p>Numai imaginea reală poate fi prinsă pe ecran, deci lentila este convergentă. Scrie datele problemei. Scrie relația dintre segmentele <math>d</math>, <math> x_1 </math> și <math> x_2 </math>. Calculează <math>x_2</math>. Scrie formula punctelor conjugate. Efectuează calculele numerice. Compară rezultatele numerice cu imaginea problemei.</p> |

3. Pe un ecran se proiectează imaginea unui obiect cu ajutorul unei lentile convergente, cu distanța focală de 30 cm. Imaginea obținută este de trei ori mai mare decât obiectul.

Determină distanța de la obiect la ecran.

| Rezolvare   | Indicații de rezolvare   |
|---|--|
|  <p><math>x_1 = -40</math> cm, deci <math>x_2 = 120</math> cm</p> <p>Din figură, se vede că:</p> $d =  x_1  +  x_2  \Rightarrow d = -x_1 + x_2 = 160$ cm <p>Compararea rezultatelor numerice cu figura</p> <p>Am obținut <math>x_1 &lt; 0</math> și <math> x_1  &gt; f</math>, ceea ce corespunde figurii.</p> | <p><i>Datele problemei</i><br/> <math>f = 30</math> cm; <math>\beta = -3</math></p> <p><i>Formule și calcule</i><br/> <math>\beta = \frac{x_2}{x_1} \Rightarrow x_2 = \beta \cdot x_1</math></p> $\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{\beta \cdot x_1} -$ $\frac{1}{x_1} = \frac{1}{f} \Rightarrow x_1 = \frac{f \cdot (1 - \beta)}{\beta}$ <p>Imaginea proiectată pe ecran de o lentilă convergentă este reală și răsturnată. În acest caz <math>\beta = -3</math> (amintește-ți că <math>\beta &lt; 0</math> dacă imaginea este răsturnată). Scrie formula măririi liniare transversale și formula punctelor conjugate. Calculează <math>x_1</math>. Din figură găsește relația dintre segmentele <math>d</math>, <math> x_1 </math> și <math> x_2 </math>.</p> |



### Activități de învățare și de autoevaluare

1. În fața unei lentile convergente, cu distanța focală de 30 cm, este așezat un obiect luminos cu înălțimea de 4 cm, perpendicular pe axa optică a lentilei, la distanța de 60 cm de lentilă.
  - a) Folosește hârtie milimetrică pentru a construi cât mai exact imaginea obiectului în lentilă.
  - b) Folosește formulele învățate și determină distanța de la imagine la lentilă și mărimea imaginii. Compară rezultatele obținute la punctul b) cu mărimile determinate prin construcție geometrică.
2. La 30 cm în fața unei lentile este așezat un obiect liniar luminos, perpendicular pe axa optică a lentilei. Imaginea obținută este virtuală, situată la 60 cm de lentilă.
 

Calculează distanța focală a lentilei.
3. Imaginea unui obiect, aflat la 60 cm de o lentilă, este virtuală și se obține la 30 cm de obiect, fiind mai depărtată de lentilă decât obiectul.
 

Calculează distanța focală a lentilei.
4. Imaginea unui obiect, aflat la 30 cm de o lentilă, este proiectată pe un ecran și este de două ori mai mare decât obiectul. Calculează distanța dintre obiect și ecran.
5. Un obiect liniar luminos, cu înălțimea de 6 cm, este așezat pe axa optică principală a unei lentile divergente, perpendicular pe aceasta, în focarul lentilei. Distanța dintre centrul optic al lentilei și focarul principal al acesteia este de 20 cm.
 

Determină poziția și mărimea imaginii.
6. Imaginea unui obiect proiectată pe un ecran de o lentilă este de 3 ori mai mare decât obiectul. Știind că distanța dintre obiect și imagine este de 80 cm, calculează distanța focală a lentilei.

## III.5. Instrumente optice

Instrumentele optice servesc la obținerea imaginilor obiectelor pe baza fenomenelor de reflexie și refracția luminii.

În interiorul unui instrument optic se găsesc lentile, oglinzi și diafragme astfel așezate încât să se obțină imagini cât mai clare ale obiectelor.

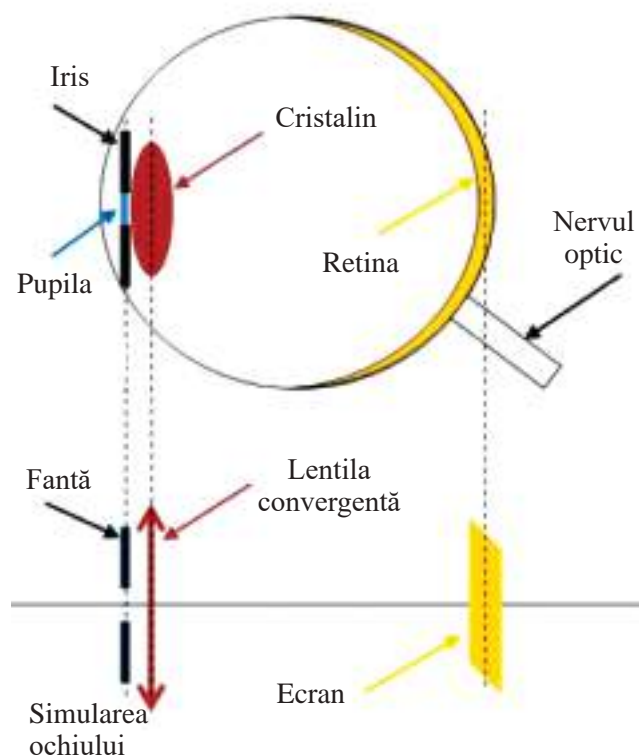
### Ochiul

Ochiul este un organ de simț foarte complex, a cărui principală funcție este de a detecta lumina și de a vedea obiectele.

În figura III.68 sunt arătate elementele ochiului real, care contribuie la formarea imaginii, și elementele din laboratorul de Fizică ce pot fi folosite pentru simularea funcționării ochiului real.

În alcătuirea ochiului apar mult mai multe elemente, pe care le vei învăța la biologie.

*Ochiul uman real*



**Figura III.68**

**Ansamblul iris-pupilă** limitează lumina care intră în ochi, având o deschidere mai mică sau mai mare în funcție de lumina din jur. Acest ansamblu este asimilat cu o fantă (dacă fanta pe care o folosești poate avea o deschidere variabilă, ea este o diafragmă – la fel ca cea de la aparatul de fotografiat).

**Cristalinul** este asimilat cu o lentilă convergentă. În realitate, el este mai mult decât o simplă lentilă. Astfel, forma lui poate varia, devenind mai bombat sau mai plat, modificându-și astfel distanța focală pentru ca imaginea obiectului să fie clară și să se obțină pe retină. Acest procedeu se numește *acomodarea ochiului*.

**Retina** este asimilată cu un ecran pe care se formează imaginea obiectelor.

Principalele defecte de vedere sunt: *miopia* și *hipermetropia*.

La ochiul miop, imaginea unui obiect îndepărtat se formează înaintea retinei. Ochiul este prea convergent. Miopia se corectează cu o lentilă divergentă așezată în fața ochiului.

La ochiul hipermetrop, imaginea unui obiect apropiat se formează în spatele retinei. Ochiul nu este suficient de convergent. Hipermetropia se corectează cu o lentilă convergentă așezată în fața ochiului.

### Lupa

Lupa (figura III.69) este un instrument optic simplu, pentru că ea este formată dintr-o singură lentilă convergentă cu distanța focală de câțiva centimetri. Atunci când un observator privește un obiect printr-o lupă, el deplasează lupa între ochi și obiect până când imaginea obiectului devine clară. Această deplasare constituie *punerea la punct a lupei*. Lupa dă o imagine virtuală și mărită a obiectului studiat.



Figura III.69

### Ochelarii

Ochelarii (figura III.70) sunt instrumente optice alcătuite dintr-o ramă și două lentile pentru corectarea unor defecte ale vederii (vezi *miopia* și *hipermetropia*).



Figura III.70

În momentul în care trebuie să alegi o pereche de ochelari, există o mulțime de aspecte de care trebuie să ții cont, și de aceea, primul pas pe care trebuie să îl faci este să mergi la medicul oftalmolog (figura III.71).



Figura III.71



## Rezumat

Lumina **transportă energie**.

Un mediu transparent absoarbe selectiv energia luminoasă.

**Dispersia luminii** este fenomenul de descompunere a luminii în culorile componente, prin refracție.

*Roșu, Oranj, Galben, Verde, Albastru, Indigo și Violet (ROGVAIV)* sunt culorile componente (spectrul) ale luminii albe.

**Culoarea corpurilor** se datorează reflexiei și absorbției luminii.



**Reflexia** este fenomenul de schimbare a direcției de propagare a luminii și întoarcerea ei în mediul din care provine atunci când întâlnește suprafața de separație dintre două medii (figura III.72).

**Legea a II-a a reflexiei:** unghiul de incidență este egal cu unghiul de reflexie ( $\hat{i} = \hat{r}$ ).

Imaginea unui obiect într-o oglindă plană:

- este virtuală și dreaptă;
- distanța imagine-oglină este egală cu distanța obiect-oglină;
- are dimensiunea egală cu cea a obiectului.

**Indicele de refracție absolut** al unui mediu este raportul dintre viteza luminii în vid ( $c$ ) și viteza luminii ( $v$ ) în mediul considerat:  $n = \frac{c}{v}$ .

**Refracția luminii** este fenomenul de schimbare a direcției de propagare a luminii atunci când traversează suprafața de separație dintre două medii transparente (figura III.73).

**Legea a II-a a refracției:** raportul  $\frac{\sin i}{\sin r}$  este o constantă caracteristică celor două medii străbătute de raza de lumină ( $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$ ).

**Fenomenul de reflexie totală** apare la suprafața de separație dintre două medii transparente atunci când refracția nu se mai poate produce și întreg fasciculul incident este reflectat.

Pentru producerea fenomenului de reflexie totală trebuie îndeplinite următoarele condiții:

- raza incidentă să se afle în mediul cu indice de refracție mai mare ( $n_1 > n_2$ );
- unghiul de incidență să fie mai mare decât unghiul limită ( $i > \ell$ ).

**Lentila** este un mediu transparent și omogen mărginit de două suprafețe din care cel puțin una nu este plană;

- o *lentilă convergentă* transformă un fascicul incident paralel într-un fascicul convergent (figura III.74. a);
- o *lentilă divergentă* transformă un fascicul incident paralel într-un fascicul divergent (figura III.74. b).

**Imaginea unui obiect într-o lentilă convergentă** poate fi reală sau virtuală, poate fi micșorată sau mărită și poate fi răsturnată sau dreaptă.

**Imaginea unui obiect într-o lentilă divergentă** este întotdeauna virtuală, dreaptă și mai mică decât obiectul.

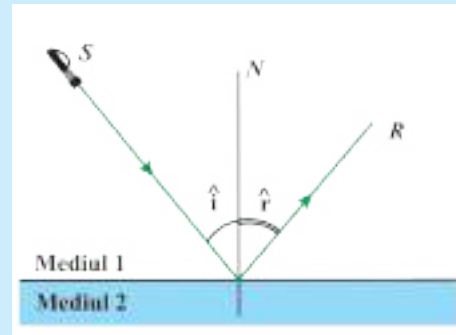


Figura III.72

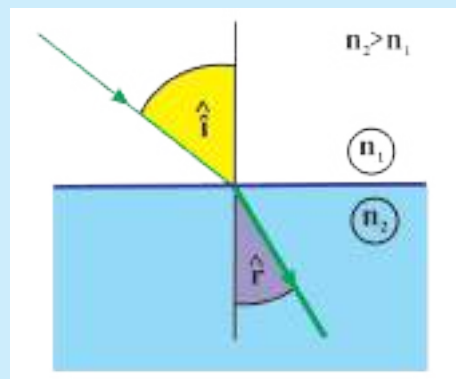


Figura III.73

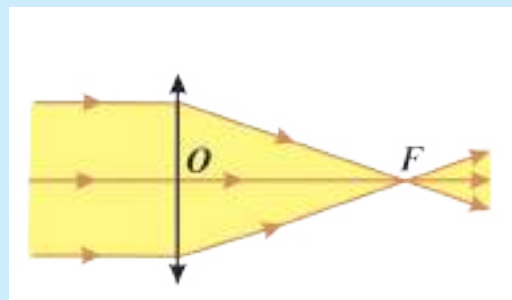


Figura III.74 a)

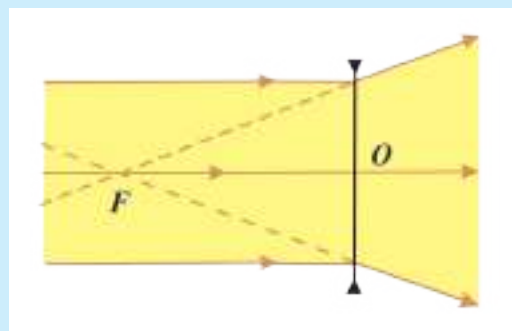


Figura III.74 b)



## Activități de învățare și de autoevaluare

1. Realizează o diagramă (schiță) de forma celei din figura III.75, în care subiectul să fie „Refracția luminii”.

2. Când se formează eclipsa totală de Lună? Explică, folosind un desen.

### Aplică noțiunile învățate în activitatea cotidiană.

3. Scrie trei exemple din viața cotidiană în care se folosesc aplicații ale fenomenului de reflexie.

4. Scrie trei exemple din viața de zi cu zi în care se folosesc aplicații ale fenomenului de refracție.

### Adevărat sau fals.

5. În dreptul fiecărei afirmații de mai jos, alege A, dacă afirmația este adevărată, sau F, dacă ea este falsă.

- Imaginea unui obiect într-o oglindă plană este reală. (A, F)
- Imaginea unui obiect într-o oglindă plană este egală cu obiectul. (A, F)
- La răsăritul Soarelui, imaginea acestuia este deasupra orizontului, dar, în realitate, Soarele se află sub linia orizontului. (A, F)
- Privind fundul unei piscine pline cu apă, vei aprecia că adâncimea apei este mai mare decât în realitate. (A, F)
- Reflexia totală este un caz particular de refracție. (A, F)
- O bulă de aer în apă se comportă ca o lentilă divergentă. (A, F)
- Dacă un obiect luminos se apropie de o lentilă convergentă, venind de la o distanță foarte mare până în focar, imaginea lui se apropie de lentilă. (A, F)
- Imaginea unui obiect într-o lentilă convergentă este virtuală, dreaptă și mai mare decât obiectul atunci când acesta este între focar și lentilă. (A, F)
- Atunci când un obiect se apropie de o lentilă divergentă, imaginea lui se depărtează de lentilă. (A, F)

### Rezolvă următoarele probleme.

6. Un om cu înălțimea  $h = 1,8$  m trece cu viteza  $v = 6$  km/h pe sub un bec aprins, aflat la înălțimea de 3,8 m.

- Cu ce viteză se deplasează extremitatea umbrei sale?
- După cât timp, socotit din momentul trecerii pe sub bec, lungimea umbrei este egală cu înălțimea omului?

7. Pe o masă orizontală se află o carte. Sub ce unghi cu suprafața orizontală a mesei trebuie așezată o oglindă plană pentru a se obține imaginea cărții în plan vertical? Construiește geometric imaginea cărții în oglindă în acest caz.

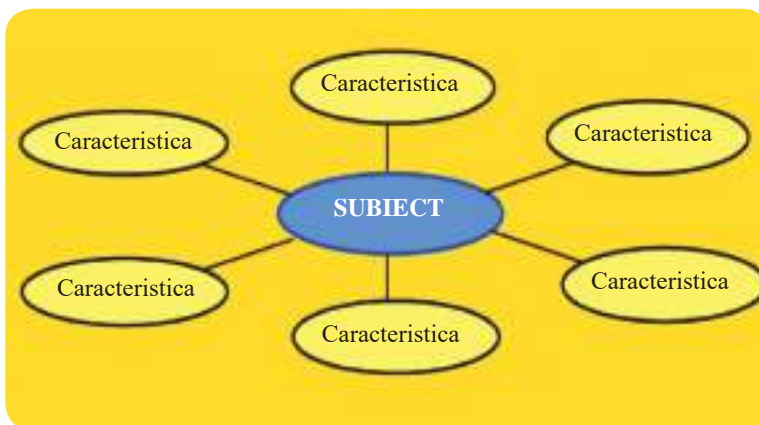


Figura III.75

8. O sursă punctiformă  $S$  se află la distanța de 4 m de o oglindă plană. De aceeași parte cu sursa, se află un observator  $O$ , la 6 m de sursă și la 4 m de oglindă. Determină distanța dintre observator și imaginea obiectului în oglindă.

9. O rază de lumină ce se propagă pe o direcție orizontală întâlnește o mică oglindă plană, așezată sub un unghi de  $45^\circ$  față de orizontală. Punctul de incidență a razei pe oglindă se află la o distanță de 80 cm de un ecran orizontal. Determină:

- unghiul pe care îl face raza reflectată cu raza incidentă;
- deplasarea petei luminoase pe ecranul orizontal atunci când oglinda se rotește cu  $15^\circ$ .

10. O rază de lumină trece din aer într-un lichid oarecare sub un unghi de incidență de  $45^\circ$ . Determină viteza de propagare a luminii în lichidul considerat știind că unghiul de refracție este  $30^\circ$ . Viteza luminii în vid este  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

11. O prismă confecționată dintr-o sticlă specială are unghiul limită de  $45^\circ$  atunci când se află în aer. Calculează indicele de refracție al sticlei.

12. O rază de lumină, aflată într-un mediu cu indicele de refracție  $\sqrt{3}$ , cade pe dioptrul plan dintre două medii sub un unghi de incidență de  $30^\circ$ . Raza refractată este perpendiculară pe raza reflectată. Determină indicele de refracție al celui de al doilea mediu.

13. Unghiul de incidență al unui fascicul de lumină pe un dioptru plan este de  $60^\circ$ , iar cel de refracție este de  $40^\circ$ . Determină unghiul de refracție pentru aceeași pereche de medii, dacă unghiul de incidență scade de două ori.

14. În figurile III.76 a), b), c) și d) sunt reprezentate un obiect așezat în fața unei lentile la diferite distanțe de aceasta și o rază de lumină folosită la construcția geometrică a imaginilor prin lentilele subțiri.

Cel mai mic pătrat reprezentat în imaginile respective are latura de 2 cm.

Pentru fiecare desen în parte, răspunde la cerințele de mai jos, folosind informațiile din desenul respectiv.

a) Ce tip de lentilă este folosită?

b) Ce valoare are distanța focală a lentilei?

c) Construiește geometric imaginea obiectului, pe o foaie de hârtie milimetrică, pe care ai refăcut, la scară, figura.

d) Calculează distanța la care ar trebui să se formeze imaginea folosind formulele lentilelor.

e) Calculează mărimea pe care ar trebui să o aibă imaginea folosind formulele lentilelor.

f) Compară rezultatul numeric cu soluția grafică.

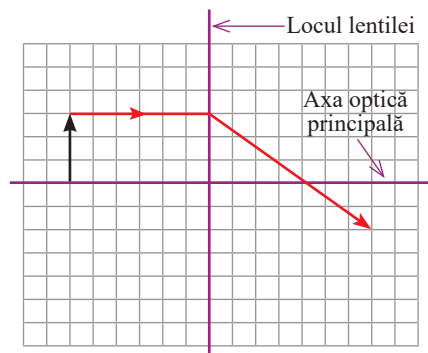


Figura III.76 a)

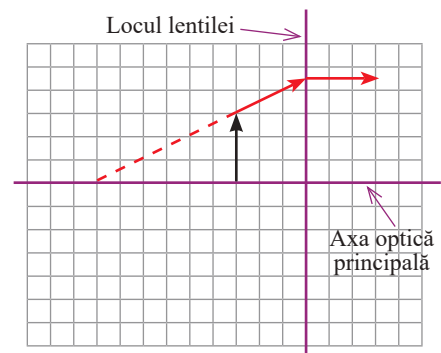


Figura III.76 b)

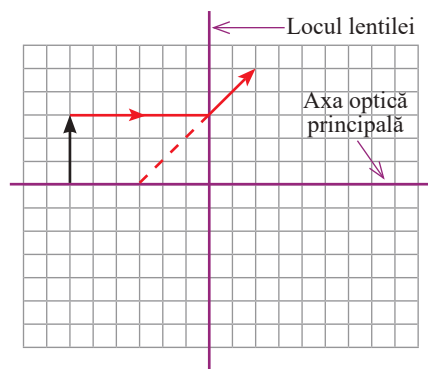


Figura III.76 c)

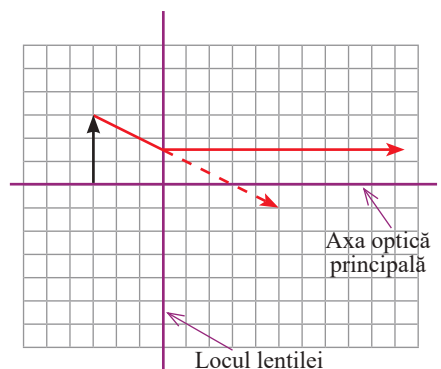


Figura III.76 d)



## Activitate interdisciplinară

Studiază cu atenție desenul din figura III.77. Răspunde la următoarele cerințe:

- Identifică fenomenele fizice din desen. Notează-le în caiet.
- Desenează pe caiet partea care se referă la poziția aparentă a Soarelui și trasează razele de lumină care formează imaginea aparentă a Soarelui.
- Numește fenomenele optice pe baza cărora se explică fenomenele identificate anterior.
- Definește fenomenele fizice numite la punctul c).
- Enunță legile fenomenelor fizice numite la punctul c).
- Realizează un desen care să sugereze cât mai multe fenomene fizice studiate în acest capitol. Prezintă desenul în fața colegilor. Folosește în explicații un limbaj științific și dă cât mai multe detalii tehnice.

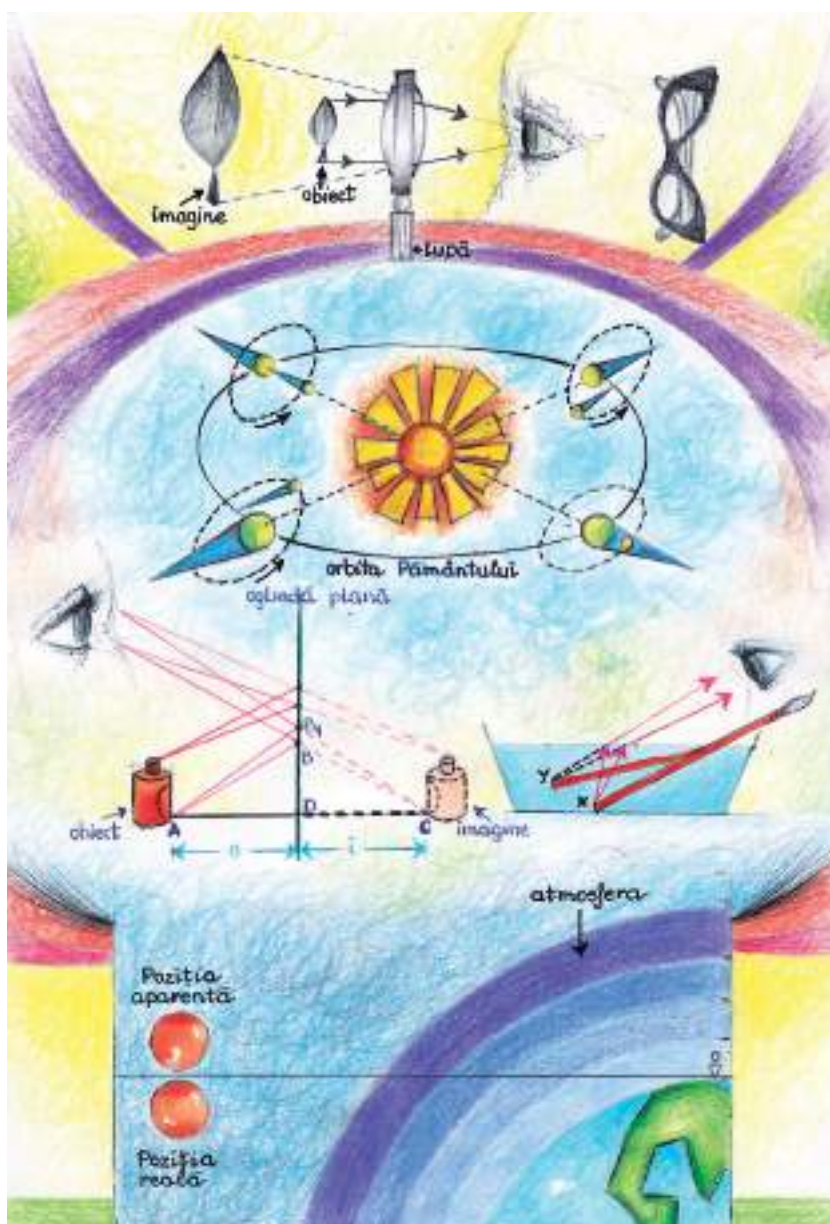


Figura III.77



Test de evaluare: Fenomene optice

În tabelul de mai jos, alege, pentru fiecare întrebare, câte un răspuns corect.  
Fiecare răspuns corect se notează cu 1 punct și se adaugă 1 punct din oficiu.

1. Culoarea corpurilor care reflectă lumina se explică prin:

|                        |                               |                        |                        |
|------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|
| a) Reflexie, refracție | b) Reflexia totală, dispersie | c) Reflexie, absorbție | d) Dispersie, reflexie |
|------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|

2. Pe baza principiului de propagare rectilinie a luminii se explică:

|          |             |              |              |
|----------|-------------|--------------|--------------|
| a) umbra | b) reflexia | c) refracția | d) dispersia |
|----------|-------------|--------------|--------------|

3. O sursă punctiformă de lumină se depărtează de o oglindă plană cu viteza de 20 m/s. Imaginea ei:

|                                    |                                       |                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| a) se apropie de oglindă cu 20 m/s | b) se depărtează de oglindă cu 20 m/s | c) se apropie de oglindă cu 10 m/s | d) se depărtează de oglindă cu 10 m/s |
|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|

4. Notăm cu  $Z$  raportul dintre adâncimea la care se formează imaginea unei surse punctiforme aflate în apă și privite din aer ( $h'$ ) și adâncimea la care se află sursa ( $h$ ) ( $Z = h'/h$ ).

|         |           |         |         |
|---------|-----------|---------|---------|
| $Z < 1$ | $Z = 1,5$ | $Z > 1$ | $Z = 1$ |
|---------|-----------|---------|---------|

5. Propagarea ghidată a luminii prin fibra optică se explică prin fenomenul de:

|              |              |                    |              |
|--------------|--------------|--------------------|--------------|
| a) absorbție | b) dispersie | c) reflexie totală | d) refracție |
|--------------|--------------|--------------------|--------------|

6. Un fascicul divergent de lumină cade pe o oglindă plană. Fasciculul reflectat este:

|               |              |            |              |
|---------------|--------------|------------|--------------|
| a) convergent | b) divergent | c) paralel | d) congruent |
|---------------|--------------|------------|--------------|

7. Indicele de refracție absolut al unui mediu este totdeauna:

|            |            |               |            |
|------------|------------|---------------|------------|
| a) $n < 1$ | b) $n > 1$ | c) $n \geq 1$ | d) $n = 1$ |
|------------|------------|---------------|------------|

8. Imaginea unui obiect într-o lentilă divergentă este:

|                        |                           |                     |                        |
|------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|
| a) reală și răsturnată | b) virtuală și răsturnată | c) reală și dreaptă | d) virtuală și dreaptă |
|------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|

9. Elementul din ochiul uman echivalent cu o lentilă convergentă este:

|                |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
| a) cristalinul | b) irisul | c) pupila | d) retina |
|----------------|-----------|-----------|-----------|



# IV.

## EXTINDERE: ENERGIA ȘI VIAȚA

**E**nergia este un factor indispensabil în Univers și, totodată, al omului. Îți poți imagina viața fără curent electric, calculator, televizor, mașini, tren, avion etc.? Energia necesară pentru consumul zilnic este obținută prin arderea combustibililor fosili (cărbune, petrol și gaze naturale), care se pot epuiza. Totodată, acestea poluează mediul. Oamenii de știință sunt preocupați să dezvolte alternative de producere și/sau utilizare a energiei prin modalități nepoluante. În acest sens, s-a dezvoltat așa-numita *energie verde*, care se referă la surse de *energie regenerabilă și nepoluantă*, precum *vântul* sau *Soarele* – *energia eoliană, energia solară*.

### IV. 1. Forme de energie. Surse de energie – temă integratoare

Viața noastră este înconjurată de energie!

*Învăță din imagini!*

Identifică formele de energie datorită cărora dispozitivele din imagine funcționează.



Figura IV.1

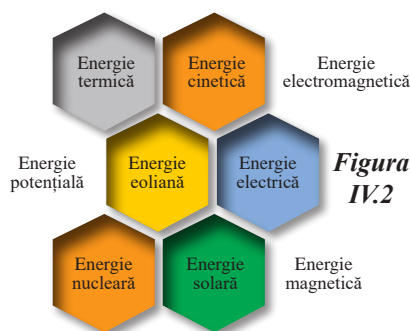


Figura IV.2

Pentru a trăi, dar și pentru a ne ușura viața, folosim energie în cele mai diverse forme prin intermediul diverselor dispozitive. Pentru a fi susținută viața pe planeta noastră, Universul utilizează energia solară, energia electromagnetică, energie mecanică etc. Copiind natura, omul a creat și creează dispozitive care îi ușurează viața. Pentru alimentarea cu energie electrică a tuturor localităților/gospodăriilor individuale și a sectoarelor de activitate, se utilizează diverse tipuri de centrale, care convertesc un tip de energie primară în energie electrică.

Dintre acestea putem enumera:

| Energia inițială         | Centrale   | Energia rezultată                  |
|--------------------------|--|------------------------------------|
| Energia mecanică         | Hidrocentrala – Energia apei   | Energie electrică                  |
|                          | Generatorul  |                                    |
|                          | Dinamul  |                                    |
|                          | Centrala eoliană – energia eoliană (a vântului)  |                                    |
| Energia calorică         | Termocentrala  |                                    |
|                          | Centrala geotermală/Pompa de căldură   |                                    |
| Energia nucleară         | Centrala nucleară  | Energie calorică (încălzirea apei) |
| Energia chimică          | Bateria și acumulatorul  |                                    |
| Energia solară luminoasă | Centrala fotovoltaică<br>Panouri fotovoltaice – energie fotovoltaică   |                                    |
| Energia solară termică   | Panouri solare – se bazează pe producerea de apă caldă utilizată în clădiri; sunt utilizate pentru acționarea turbinelor, ca și în cazul centralelor termice clasice, pentru producția de electricitate. |                                    |





### Activități de învățare și de autoevaluare

Scrie în tabelul de mai jos câteva dintre dispozitivele pe care le cunoști și tipul de energie convertit de fiecare.

| Energie inițială | Dispozitiv | Energie finală |
|------------------|------------|----------------|
| ...              |            |                |

### IV. 1.1 Transformarea și conservarea energiei în diferite sisteme (de exemplu, sistemul de întreținere a vieții pe o stație spațială, alte sisteme identificate și studiate la biologie, geografie etc.)

#### Generatorul electric

Învăță din imagini!

Figura IV.3



### Activitate experimentală

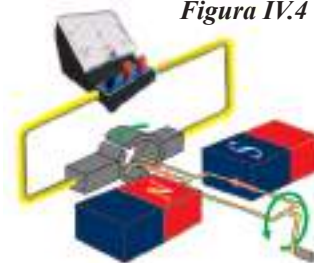
#### Materiale necesare:

► un magnet permanent, un cadru de sârmă care poate fi rotit în jurul unui ax, perii colectoare, conductoare de legătură, galvanometru.

#### • Mod de lucru:

Realizează montajul și rotește cadrul. Modifică viteza de rotație a cadrului (figura IV.4). Ce observi? Acul galvanometrului oscilează în jurul valorii zero. Viteza de oscilare a acului crește pe măsură ce crește viteza de rotație. Dacă viteza este foarte mare, din cauza inerției, acul rămâne în jurul lui zero.

Figura IV.4



### Concluzie

În timpul rotirii cadrului, circuitul este parcurs de un curent electric variabil în timp. Dacă la motoare se aplică *regula mâinii stângi*, la generatoare se aplică *regula mâinii drepte*: inducția magnetică intră în palmă, degetele alăturate indică sensul curentului electric, iar degetul mare depărtat indică sensul vitezei.

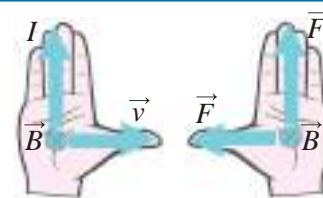


Figura IV.5

#### Dinamul

Dinamul transformă energia mecanică în energie electrică. Dinamul este dispozitivul utilizat pentru iluminarea drumului în cazul bicicletelor, transformând energia mecanică a roții în energia necesară funcționării becului. El a fost inventat în mod independent de Jedlik Anyos, în 1861, și de Ernst Werner von Siemens, care l-a brevetat în 1867. Dinamul unei biciclete (figura IV.6) este confecționat dintr-o bobină care se rotește între doi magneti permanenți, sau un magnet care se rotește deasupra unei bobine. Sub acțiunea câmpului magnetic, în spira (numită *indus*) aflată în mișcare, se induce curentul electric necesar funcționării becului.



Figura IV.6

## Hidrocentrala

**Hidrocentrala** transformă energia potențială a apei din lacul de acumulare în energie cinetică necesară antrenării paletelor unei turbine de apă; această energie mecanică este utilizată de generatorul electric care transformă energia mecanică în energie electrică.

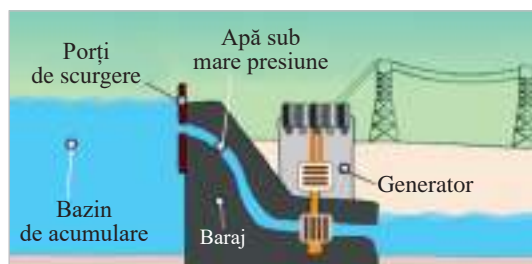


Figura IV.7

## Centrale eoliene

Ai citit romanul *Don Quijote de la Mancha* a scriitorului spaniol Miguel de Cervantes (1547 – 1616)? Personajul principal este Don Quijote care este însoțit de prietenul și servitorul său Sancho Panza. În peripețiile sale, Don Quijote confundă morile de vânt cu niște uriași și se luptă cu ele. Ca urmare, a apărut zicala „te lupți cu morile de vânt”, adică încerci imposibilul.

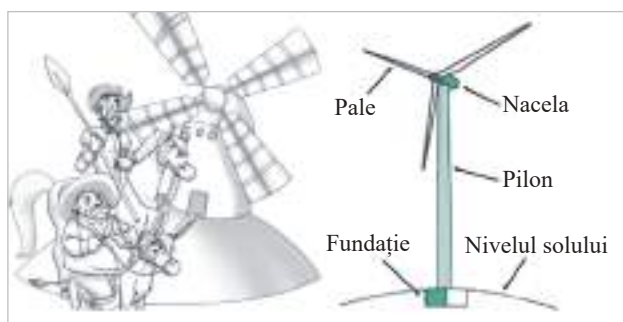


Figura IV.8

Prima moară de vânt a apărut în secolul al XII-lea și a fost utilizată, în principal, pentru pomparea apei sau pentru măcinarea grâului. Acest tip de moară transformă energia mecanică a apei sau a vântului tot în energie mecanică.

**Centrala eoliană** (figura IV.8) este o moară de vânt modernă, care convertește energia cinetică a vântului în energie electrică. Energia eoliană provi-

## Centrale geotermale

Cuvântul **geotermal** este compus din *geo* = pământ și *thermo* = căldură. **Centralele geotermale** transformă energia termică a pământului – vulcani, izvoare termale, gheizere, rezervoare geotermale – în energie termică necesară încălzirii locuințelor sau în energie electrică. Cu ajutorul acestora, iarna pot fi încălzite locuințele, iar vara acestea pot fi răcite. Ele sunt eficiente, reduc mult costurile și sunt mult folosite în țări precum Islanda sau Canada.

Există mai multe tipuri de centrale geotermale.

- Sistemul de încălzire al centralei este format dintr-o pompă și niște țevi prin care circulă freon, iar principiul de funcționare seamănă cu cel al frigiderului.

- Se injectează apă rece sub presiune la câțiva kilometri adâncime, acolo unde sunt resurse de apă caldă sau roci calde, și aceasta iese sub formă de aburi prin sistemul de ieșire. Ciclul se reia prin pomparea apei reci.

### Învățăm din imagini!

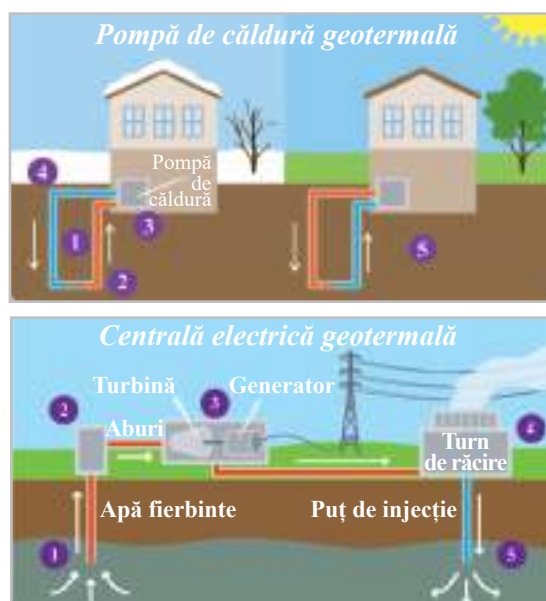


Figura IV.9

### Centrale solare

Lumina directă a soarelui este cea mai abundentă sursă de energie de pe glob. O parte este absorbită de atmosferă și se regăsește sub forma energiei eoliene, dar, în medie,  $1\,353\text{ kW/m}^2$  din această energie cade pe suprafața pământului; se estimează că Pământul primește  $\approx 96$  miliarde kW/s de la Soare. Utilizarea directă a energiei solare se face de mult timp. Se folosesc captatoare solare pentru încălzirea apei, pentru încălzirea aerului, pentru uscarea diferitelor produse agricole, pentru producerea de energie electrică. Dar, cea mai importantă cale de utilizare pentru energia solară este conversia ei directă în energie electrică prin intermediul centralelor solare, și reprezintă o tehnologie a viitorului. Există două tipuri de centrale solare :

- **Centrale solare termice** (sau termodinamice) – transformă energia soarelui în căldură, care este apoi utilizată pentru a genera electricitate. Ele conțin oglinzi (captează radiația solară astfel încât sunt generate temperaturi foarte ridicate:  $400\text{--}1\,000^\circ\text{C}$ ), un cazan (sub acțiunea temperaturii obținute, apa se transformă în vapori), o turbină (conduc vaporii sub presiune către alternator) și un alternator (produce c.a.). Cea mai mare centrală de acest tip este NOOR și se găsește în Maroc.

- **Centrale solare fotovoltaice** – conțin panouri fotovoltaice care transformă direct energia solară în energie electrică. Tehnologii de ultimă oră utilizează panouri fotovoltaice la construcția drumurilor solare (SOLAR ROADWAYS).

În plus, există panourile solare termice folosite pentru încălzirea apei sau a locuințelor. O casă care are montate ambele instalații solare (cu panouri fotovoltaice și panouri termice) este considerată autonomă, iar surplusul de energie poate fi trimis în rețea. În Germania, majoritatea caselor au montate astfel de dispozitive. Avantajele centralelor solare sunt: produc energie electrică fără a polua mediul înconjurător; au fiabilitate ridicată; au durată de viață lungă; exploatarea lor este ușoară și ieftină; au o tehnologie fără poluare fonică; pierderile de transport sunt reduse; spațiile pentru producere și transport sunt reduse.

### Bilanțul energetic al solului și al atmosferei

Pământul primește încontinuu energie de la Soare, astfel încât temperatura sa medie rămâne constantă.

Admitem faptul că Pământul emite atâta energie în spațiu cât primește.

Energia solară reprezintă energia produsă în Soare ca rezultat al reacțiilor nucleare, care este transmisă prin spațiu pe Pământ.

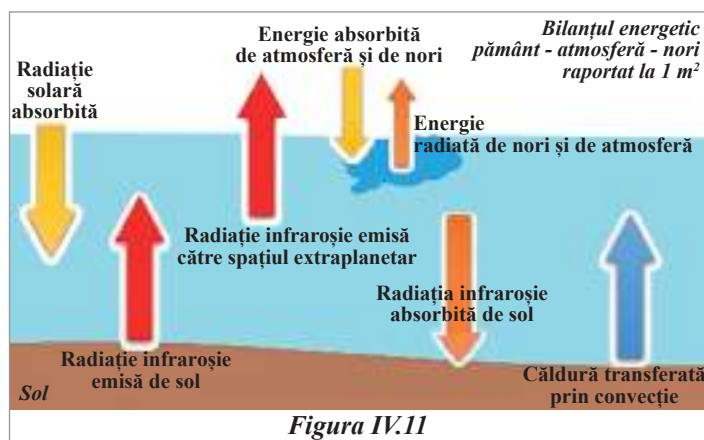
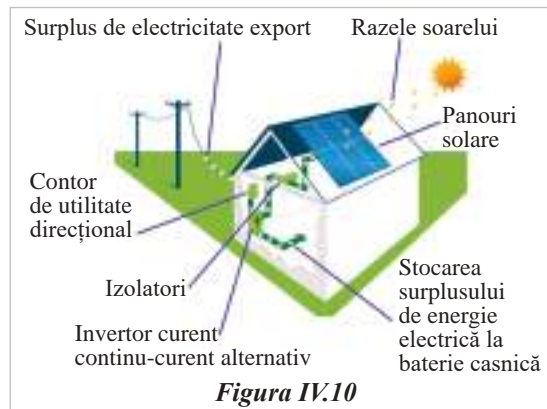
Pământul absoarbe energie de la Soare și emite căldură în spațiu sub formă de radiații infraroșii.

Dacă vei considera că energia solară pe care o primește planeta noastră reprezintă 100%, atunci:

51% este absorbită de scoarța terestră, de ape și de oceane, 19% este absorbită de atmosferă și de nori, iar restul este reflectată de nori, atmosferă și de suprafața pământului.

Pământul cedează în spațiu energie: 64% radiată de nori și de atmosferă și 6% radiată în spațiu direct de către suprafață. Considerăm că din cei 340 W primiți la nivelul atmosferei, în 24 de ore, pe  $\text{m}^2$ , 85 W sunt reflectați de atmosferă, 90 W sunt absorbiți de nori și de atmosferă și 165 W ajung la suprafața solului.

### Învăță din imagini!



## Randamentul unui lanț energetic

Un **lanț energetic** este format din mai multe sisteme energetice corelate – de exemplu bateria unei mașini transformă energia chimică în energie electrică, iar motorul transformă energia electrică în energie mecanică necesară învârtirii roților. Avem deci un lanț energetic format din baterie (care are un randament) și motor (care are un alt randament)



Pentru a analiza un lanț energetic, trebuie să:

- definești punctul de plecare;
- să cauți dispozitivele succesive care convertesc un tip de energie în alt tip de energie;
- să cauți rezervorul de energie de intrare și cel de ieșire;
- să precizezi diferitele transferuri energetice.

Considerăm un lanț energetic format din *Soare, panouri fotovoltaice, acumulatori, un motor și o pompă*. Punctul de plecare este Soarele, celulele fotovoltaice convertesc energia solară  $W_R$  în energie electrică  $W_{E1}$ . Bateria de acumulatori este un rezervor intermediar, capabil să stocheze energie sub formă de energie chimică; bateria convertește energia chimică în energie electrică  $W_{E2}$ , necesară pentru alimentarea motorului. Motorul convertește energia electrică în energie mecanică  $W_{M3}$ . Pompa convertește energie mecanică de intrare în energie mecanică de ieșire  $W_{M4}$ . Sistemul apă – pământ este un rezervor de energie mecanică.

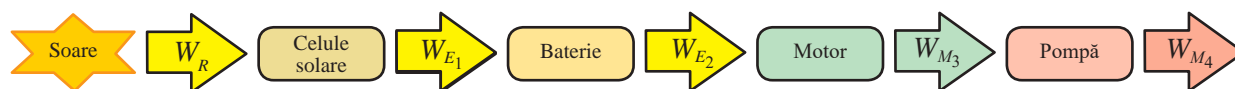
În fiecare etapă de conversie sunt pierderi de energie sub formă de căldură și de energie radiantă.

Randamentul global al unui lanț energetic format din  $n$  dispozitive este dat de:

$$\eta = \frac{\text{energia utilă (furnizată la ieșire)}}{\text{energia consumată}}$$

Totodată, este egal cu produsul dintre randamentele fiecărui dispozitiv în parte din lanțul energetic.

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$$



Randamentul lanțului este:

$$\eta_1 = \frac{W_{E1}}{W_R} \quad \eta_2 = \frac{W_{E2}}{W_{E1}} \quad \eta_3 = \frac{W_{M3}}{W_{E2}} \quad \eta_4 = \frac{W_{M4}}{W_{M3}}$$

$$\eta = \frac{W_{M4}}{W_R}$$

### ☒ Problemă rezolvată

1. Un panou fotovoltaic alimentează o baterie de acumulatori. Aceasta furnizează energie electrică unui motor care acționează o pompă pentru a scoate apa dintr-o fântână.

a) Realizați schema acestui lanț energetic și menționați energiile implicate.

b) Calculați randamentul întregului lanț energetic, dacă se cunosc randamentele pentru: panou solar – 13%; bateria de acumulatori – 70%; motor – 90%; pompă – 95%.

### Rezolvare

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 = 0,13 \cdot 0,70 \cdot 0,90 \cdot 0,95 \cong 0,0778$$

Deci, randamentul lanțului energetic este de 7,78%



### Sistemul de întreținere a vieții pe o stație spațială. Creșterea plantelor pe o colonie spațială

Dacă vrei să pui bazele unei colonii spațiale, undeva, în Sistemul Solar, trebuie să acționezi ca un adevărat om de știință și să găsești soluții optime care să-ți gestioneze resursele limitate și să fie asigurată hrana în colonie. Cultivarea plantelor este o soluție bună, deoarece acestea pot asigura hrană, produc  $O_2$ , absorb  $CO_2$ , pot contribui la reciclarea apei, pot echilibra umiditatea în spațiul închis al coloniei.

Pe Pământ, pentru a crește și a rodi, plantele primesc **energie** sub formă de **radiație** de la Soare.

Lumina solară conține tot spectrul vizibil ROGVAIV. Au oare nevoie plantele, în mod egal, de toate culorile din spectru pentru a se dezvolta?

Prezumții științifice: testele efectuate au arătat că **radiația de culoare albastră** este cea mai importantă în procesul de creștere a plantelor, deoarece este absorbită ușor și joacă cel mai important rol în producția de clorofilă. **Radiația de culoare roșie** este foarte importantă în procesul de fotosinteză. Combinată cu lumina de culoare albastră, radiația de culoare roșie favorizează înflorirea și rodirea plantelor. Testele au arătat că **radiația de culoare verde** este cea mai puțin importantă în procesul de creștere, înflorire și rodire a plantelor. Oferă un argument care să explice această observație.



#### Activitate experimentală

Poți verifica afirmațiile de mai sus crescând două culturi de plante identice, în aceleași condiții de presiune, temperatură și umiditate, dar folosind iluminări diferite.

##### **Materiale necesare:**

► semințe de ardei sau grâu; sol (pământ de flori); două cutii din carton, suficient de mari, identice ca formă și dimensiuni (de exemplu,  $L = 50$  cm,  $l = 35$  cm,  $h = 30$  cm); două lămpi identice cu leduri roșii și albastre (se găsesc în comerț); baterie, întrerupător și mai multe leduri verzi; termometru; barometru; măsură; aparat de fotografiat.

##### ● **Mod de lucru:**

Amenajează din cele două cutii de carton două habitate identice. Sădește în același tip de sol, în patru pahare din plastic, identice (figura IV.12), semințe de ardei (dacă vrei să verifici și înflorirea) sau de grâu (dacă vrei să verifici cum e influențată de natura radiației doar creșterea plantelor). Așază în fiecare dintre cutii două pahare și câte o lampă cu leduri (figura IV.13). Realizează un circuit simplu, format din baterie, întrerupător și ledurile verzi legate în serie, și pune-l în una dintre cutii. Închide cutiile, astfel încât să nu pătrundă lumină solară. Plasează cutiile în laborator în așa fel încât să ai acces ușor în interiorul lor. Udă solul la aceeași oră, cu aceeași cantitate de apă (măsurată cu măsura). Verifică zilnic temperatura și presiunea în cele două cutii. Justifică de ce manevrele trebuie să se facă seara târziu. Notează zilnic valorile în tabele. Măsoară și fotografiază zilnic plantele. Când consideri că plantele au crescut suficient de mult, scoate plantele din cutii și analizează-le.

● **Interpretarea rezultatelor:** Realizează o diagramă pe care să reprezinți, pentru fiecare plantă din cele două habitate, înălțimea plantei și data corespunzătoare. Compară plantele crescute în cele două habitate: înălțimea plantelor, vigoarea, culoarea, numărul de frunze (florile, dacă este cazul). Dacă ai suficiente fotografii, realizează filmulețe care să exemplifice creșterea plantelor. Interpretează rezultatele.



Figura IV.12



Figura IV.13

- **Extragerea concluziilor**

1. Formulează o concluzie clară referitoare la culoarea radiațiilor (din experimentul anterior) care influențează dezvoltarea plantelor. Explică această influență în termeni de absorbție și reflexie a luminii.
2. Notează în caiet alți parametri care ar mai putea influența creșterea plantelor (sol, câmp magnetic, atmosferă bogată în dioxid de carbon).
3. Propune o metodă prin care ai putea monitoriza mai corect parametrii în habitatul tău (senzori de temperatură și de presiune).



### Activitate interdisciplinară

1. Analizează figura IV.14 și răspunde la următoarele cerințe:

a) Realizează o hartă conceptuală în care să descrii tipurile de transformări ale energiei învățate în acest capitol.

b) În Hotărârea nr. 1844/2005 privind promovarea utilizării biocarburanților și a altor carburanți regenerabili pentru transport găsești definiția biomasei: „biomasă – fracțiunea biodegradabilă a produselor, deșeurilor și reziduurilor de origine biologică din agricultură, inclusiv substanțe vegetale și animale, silvicultură și industriile conexe, inclusiv pescuitul și acvacultura, precum și fracțiunea biodegradabilă a deșeurilor industriale și urbane.”

Având în vedere că biomasa reprezintă resursa regenerabilă cea mai abundentă de pe planetă, realizează un scurt eseu despre această resursă și utilizările ei.

c) La biologie ai învățat despre fotosinteză. Prezintă importanța fotosintezei pentru lumea vie.

2. Identifică noțiunile învățate și unitățile de măsură asociate.

3. Scrie un scurt eseu despre noțiuni învățate în acest capitol.

4. Realizează un desen care să sugereze cât mai multe noțiuni de fizică studiate. Prezintă desenul în fața colegilor. Folosește în explicații un limbaj științific și dă cât mai multe detalii referitoare la modul de realizare a desenului tău.

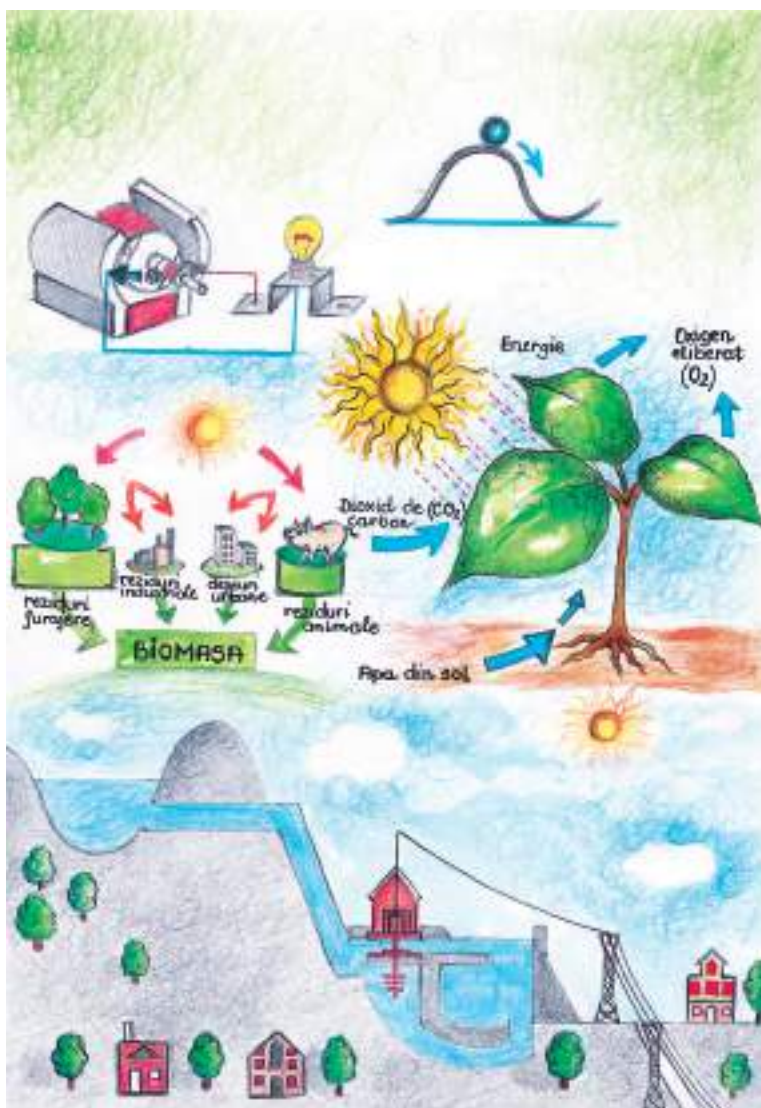


Figura IV.14



## Probleme recapitative

1. În figura alăturată (figura R.1), este reprezentat graficul dependenței căldurii absorbite de temperatura corpului pentru trei corpuri solide aflate la aceeași temperatură inițială. Scrie relația de ordine dintre capacitățile calorice ale celor trei corpuri.

2. Ce căldură este necesară pentru a transforma 100 g de gheață, aflată la temperatura  $-20^{\circ}\text{C}$ , în apă la  $0^{\circ}\text{C}$ ? ( $c_{\text{gheață}} = 2\,090\text{ J/kgK}$ ,  $\lambda_{\text{gheață}} = 335\text{ kJ/kg}$ ).

3. Ce masă de petrol s-a consumat pentru a vaporiza o fracțiune  $f$  dintr-o cantitate  $m$  de apă aflată la temperatura  $t < 100^{\circ}\text{C}$ ? (Se cunosc căldura specifică a apei  $c$ , căldura latentă specifică de vaporizare  $\lambda$  și puterea calorică a petrolului  $q$ .)

4. Un tren are masa  $m = 10\text{ t}$  și se mișcă rectiliniu cu viteza  $v = 72\text{ km/h}$ . Calculează ce masă de apă s-ar putea transforma în vapori dacă s-ar folosi doar jumătate din căldura degajată în procesul de frânare a trenului până la oprire. Temperatura inițială a apei este  $T = 293\text{ K}$ ,  $c_{\text{apă}} = 4\,185\text{ J/kgK}$ , iar  $\lambda_{\text{vapori}} = 2,3\text{ MJ/kg}$ .

5. Rezistența corpului omenesc variază între  $500\text{ k}\Omega$  (când este foarte uscat) și  $1\text{ k}\Omega$  (când este umed). Curentul maxim admis prin corpul uman este de circa  $5\text{ mA}$ . La  $10\text{ mA}$  sau mai mult, se produc contracții musculare care pot fi fatale. Care este cea mai mare tensiune sigură la care poate fi supusă o persoană atunci când corpul acesteia este umed? Este această tensiune comparabilă cu tensiunile întâlnite la sursele din casă?

6. Un rezistor din carbon, având  $\alpha = -0,0005\text{ (}^{\circ}\text{C)}^{-1}$ , este utilizat ca termometru. Într-o zi de iarnă, când temperatura este de  $4^{\circ}\text{C}$ , rezistența rezistorului este de  $217,3\text{ }\Omega$ . Care este temperatura măsurată într-o zi de primăvară dacă rezistența este de  $215,8\text{ }\Omega$ .

7. Două rezistoare, legate în paralel, au rezistența  $R_p = 3,43\text{ }\Omega$ , iar la legarea lor în serie,  $R_s = 14\text{ }\Omega$ . Află rezistența fiecărui rezistor.

8. a) Un fir conductor de rezistență  $R$  este tăiat trei bucăți egale. Ce rezistență va avea fiecare bucată?

b) Una dintre bucăți se îndoaie sub formă de cerc și apoi cele trei părți se montează ca în figura R.2. Cercul este conectat între două puncte diametral opuse. Ce rezistență echivalentă va avea gruparea obținută?



9. O sursă de tensiune de curent continuu disipează în circuitul exterior aceeași putere  $P = 100\text{ W}$ , fie că la bornele ei se leagă un rezistor cu rezistența  $R_1 = 4\text{ }\Omega$ , fie că se leagă unul cu rezistența  $R_2 = 9\text{ }\Omega$ . Află: a) rezistența internă a sursei; b) t.e.m. a sursei; c) randamentele  $\eta_1$  și  $\eta_2$  ale transferului de putere de la sursă la circuitul exterior în cele două cazuri.

10. În cât timp va crește temperatura a 3 litri de apă de la  $12^{\circ}\text{C}$  la  $100^{\circ}\text{C}$ , dacă fierbătorul folosit în acest scop este conectat la un generator ce furnizează un curent cu intensitatea de  $5\text{ A}$  la tensiunea de  $220\text{ V}$  și are un randament de  $80\%$ ? Se cunoaște  $\rho_{\text{apă}} = 1\,000\text{ kg/m}^3$  și  $c_{\text{apă}} = 41\,80\text{ J/kgK}$ .

11. O sursă de curent cu t.e.m. de  $100\text{ V}$  și rezistența internă de  $5\text{ }\Omega$  alimentează un fierbător electric cu rezistența electrică de  $45\text{ }\Omega$ , în care se află  $258\text{ g}$  de apă care se încălzește cu  $\Delta\theta = 20^{\circ}\text{C}$ . Știind că randamentul fierbătorului este de  $60\%$ , află timpul trecerii curentului electric prin fierbător, necesar încălzirii apei. Se cunoaște  $c_{\text{apă}} = 4\,200\text{ J/kg K}$ .

12. Explică interacțiunea dintre sistemele din figura R.3, știind că săgețile simbolizează sensul liniilor de câmp. Stabilește sensul intensității curentului electric prin spire, respectiv prin bobine.

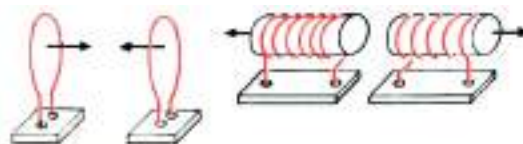


Figura R.3

13. Stabilește sensul liniilor de câmp magnetic (figura R.4). Vectorul inducție magnetică într-un punct determinat al câmpului:

- a) face un unghi oarecare cu linia de câmp;
- b) este tangent la linia de câmp și de sens opus sensului liniei de câmp;
- c) este perpendicular pe linia de câmp în acel punct;
- d) este tangent la linia de câmp și are sensul liniei de câmp.

14. Expresia forței electromagnetice este:

- a)  $F = B \cdot I \cdot l \cdot \cos \alpha$ ;
- b)  $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$ ;
- c)  $F = B \cdot l \cdot \sin \alpha$ ;
- d)  $F = B \cdot I \cdot l$ .

15. Unitatea de măsură a inducției magnetice  $B$  în Sistemul Internațional este: a) N/m; b). N·m/A; c) N·A/m; d) N/A·m.

16. O oglindă plană de forma unui disc, cu diametrul  $D_1 = 20$  cm este așezată vertical, paralel cu pereții camerei la distanța  $d = 60$  cm de acesta. O sursă punctiformă de lumină se află pe axa oglinzii. Pe perete apare o pată luminoasă produsă de lumina reflectată pe oglindă, de diametru  $D_2 = 80$  cm. Calculează distanța de la sursă la oglindă.

17. Două oglinzi plane au una dintre laturi în contact. În sistemul considerat, se obțin două imagini ale unei surse punctiforme așezată între cele două oglinzi. Sursa, împreună cu cele două imagini, formează un triunghi echilateral. Determină unghiul dintre cele două oglinzi.

18. O sursă punctiformă de lumină se află la adâncimea  $h = 1$  m în interiorul unui lichid necunoscut. Pe suprafața lichidului plutește un disc opac al căui centru este pe verticala dusă prin sursă. Atunci când raza minimă a discului este  $R = \sqrt{3}$ , sursa nu mai poate fi văzută din nicio poziție a unui observator aflat în aer. Calculează indicele de refracție absolut al lichidului.

19. Precizează caracteristicile imaginii obiectului  $AB$ , obținută cu ajutorul lentilei din figura R.5.

20. O sursă punctiformă de lumină se află la distanța de 40 cm de o lentilă convergentă și este deplasată în sus față de axa optică principală a acesteia cu 9 cm. Distanța focală a lentilei este de 10 cm. Precizează distanța pe care se deplasează imaginea și sensul acestei deplasări.

21. La jumătatea distanței dintre două lentile, una convergentă și una divergentă, se află un obiect liniar perpendicular pe axa sistemului. Lentilele au aceeași axă optică principală și distanțele focale egale în modul,  $|f_1| = |f_2| = f$ , distanța dintre ele fiind  $D = 3f$ . Calculează distanța dintre cele două imagini date de lentile.

22. Un conductor de nichelină cu rezistivitatea  $\rho = 42 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$  și secțiunea  $S = 42 \cdot 10^{-9} \text{m}^2$  are rezistența  $R = 2 \Omega$ . Acesta este situat într-un câmp magnetic uniform, perpendicular pe liniile de câmp, și este parcurs de un curent electric  $I = 10$  A. Știind că asupra sa acționează o forță electromagnetică  $F = 1$  N, să se afle: a) lungimea conductorului; b) inducția magnetică; c) pentru ce valoare a intensității curentului electric, forța electromagnetică se înjumătățește; d) pentru ce valoare a lungimii conductorului forța electromagnetică este  $F = 2$  N, dacă  $I = 10$  A.

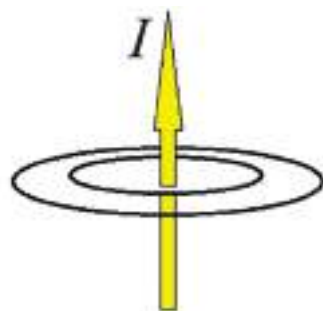


Figura R.4

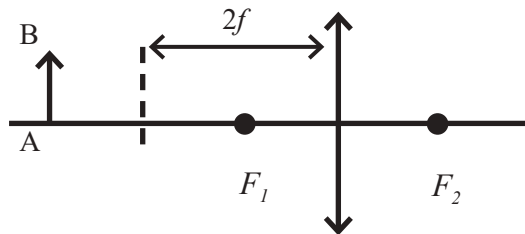


Figura R.5

## Răspunsuri la probleme

**Pag. 18:** 1.  $t = 40^\circ\text{C}$ ; 2. a)  $1^\circ\text{C} = 1,8^\circ\text{R}$ , b)  $x(t^\circ\text{R}) = a(t^\circ\text{C}) + b \Rightarrow t^\circ\text{R} = \frac{9}{5} \cdot (t^\circ\text{C}) + 273,15$ ; 3. 258 K, 264,8 K, 73 K, 0 K; 4. b)  $1371,11^\circ\text{C}$ ; c)  $1341,11\text{ K}$ ; d) 44,70; e) 206 h 49 min 40 s = 8 zile 14 ore 49 minute 40 secunde;

**Pag. 25:** 1.  $C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{m \cdot Q}{m \cdot \Delta T} = m \cdot c$ ; 2.  $C_v = \frac{Q}{v \cdot \Delta T} = \frac{\mu \cdot Q}{m \cdot \Delta T} = \mu \cdot c$ ; 3.  $Q = 2\,092,5\text{ kJ}$  4.  $16,9^\circ\text{C}$ ; 5.  $528 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$ ;

**Pag. 34:** 4. 2 700 kJ. 5. a) 1978-2013; b) 2 012; c) 7 milioane  $\text{km}^2$ , 2,8 milioane  $\text{km}^2$ ; d) 2,5; e) 50 000  $\text{km}^2/\text{an}$ ;

**Pag. 35:** 1. 112,5 J; 2. 2,1 kg; 3.  $Q = Q_{Cu} + Q_{Al} = m(f_1 \cdot c_{Cu} + f_2 \cdot c_{Al}) \Delta T = 1657,5\text{ J}$ ; 4. 23 000 kJ; 5.  $C = 200\text{ J/K}$ ;

6.  $\Delta x = \frac{\eta \cdot V \cdot \rho \cdot q}{F} = 26,28\text{ km}$ ,  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = 2,72 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; **Pag. 39:** 1. b; 2. A, A, F, F; 6. b); 7.  $\frac{(c_{Au} + c_{Ag})}{2}$ ;

8.  $c = \frac{c_{Au} \cdot \rho_{Au} + c_{Ag} \cdot \rho_{Ag}}{\rho_{Au} + \rho_{Ag}}$ ; 9. 0,64 kg;

**Pag. 44-45:** 2.  $1,25 \cdot 10^{19}$ . 3. 0 C 4. a) 1,2  $\mu\text{C}$ ; b) 0,6  $\mu\text{C}$ ; c) 0,8  $\mu\text{C}$ ; d)  $5 \cdot 10^{12}$ . **Pag. 47:** 0,1 m; 29,7 cm;  $\frac{F}{48}$ . **Pag. 54:** 60 J, 25 C. a) 0,8 C, 2 C, 0,3 C; b) 3,8 C; c) 25,3 mA. **Pag. 56:** 1. 11 V; 2,2 V, 2. 2,5 A; 7,2 mA.

**Pag. 60:** 1.  $\approx 25\text{ mA}$ ; 2.  $\approx 0,12\ \Omega$ ; 1,5 mV; aprox. 3.  $\approx 4\text{ mm}$ , 4.  $R' = 0,75\text{ R}$ . **Pag. 62:** 1. 500 V, 2.  $\approx 35\text{ m}$ ;

3. b) caracteristica I-U este liniară, prin urmare conductorul este ohmic și este valabilă legea lui Ohm;

c) 3,88  $\Omega$ . **Pag. 64:** 1. 2950  $\Omega$ , 2. 12 V, 3. 0,21 A. **Pag. 67:** 2. a) 42  $\Omega$ ; b) 17,5  $\Omega$ ; c)  $\approx 8,6\ \Omega$ ; 3. există 2

conexiuni: grupări de 2 rezistoare în serie, legate în paralel, sau 2 grupări de câte 2 rezistoare în paralel,

legate în serie. **Pag. 70:** 1. 2 mA, 2. 5 A, 3. a) 2 A, 42 V, 5  $\Omega$ ; b) 1 A, 18 V, 7 V. 4.  $\frac{E}{7R}$ . **Pag. 76:** 1. 72,6 kJ,

2.  $\approx 15\text{ min}$ , 3. 40 kJ. **Pag. 79:** 1. a) 0,18 A; b) 2 400 J; c) 1 210  $\Omega$ ; 2.  $\approx 10,6\text{ m}$ ; 3. 4,5 W. **Pag. 81:** 1. Am-

permetrul are o rezistență internă foarte mică, prin urmare conectarea la rețea produce un scurtcircuit.

2. Între cele două șine nu există tensiune. Pericolul de electrocutare apare dacă, stând pe șine, atingem firul

conductorului aerian pe care se sprijină troleul tramvaiului. 3. Când se pune apă în fierbător, rezistorul se

află la o temperatură mai mică decât în absența apei. Din această cauză rezistența sa este mai mică și pute-

rea absorbită (ca și energia) este mai mare. **Probleme recapitulative:** 1. 0,035 N. 2. 30 V; 25  $\Omega$ . 3. 12 A.

**Pag. 89:**  $L = 25\ \mu\text{H}$ ; **Pag. 90:** 2.  $\frac{F}{I} = 12 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ ; **Pag. 93:** 1. b); 2. a); 3. c); 4. c); 5. b); 6. (1) 50 V; 60 V; 1 000 J;

120 W; (2) 5 A; 5 s; 1 125 J; 250 W; 7.  $F = 5 \cdot 10^{-3}\text{ N}$ ; 8. a)  $r = 1\ \Omega$ ; b)  $R = 5\ \Omega$ ; c)  $u = 1\text{ V}$ ; d)  $I_{sc} = 6\text{ A}$ ;

**Pag. 105:** 1. B; 2.  $15^\circ$ ; 3. 50 cm; **Pag. 106:** 1.  $n = 1,47$ ; 2.  $v = 2,25 \cdot 10^8\text{ m/s}$ ; **Pag. 112:** 1. B; 2. A; 3. B; 4. A;

**Pag. 114:** 1. B; 2. D; 3. E; **Pag. 127:** 1.  $x_2 = 60\text{ cm}$ ;  $y_2 = -4\text{ cm}$ ; 2.  $f = 60\text{ cm}$ ; 3.  $f = 180\text{ cm}$ ; 4.  $d = 90\text{ cm}$ ;

5.  $x_2 = -10\text{ cm}$ ;  $y_2 = 3\text{ cm}$ ; 6.  $f = 15\text{ cm}$ ; **Pag. 130:** 5. a) F; b) A; c) A; d) F; e) A; f) A; g) F; h) A; i) F.

6. a)  $v = 11,4\text{ km/h}$ ; b)  $t = 1,2\text{ s}$ ; 7.  $\alpha = 45^\circ$ ; 8.  $d = 10\text{ m}$ ; 9. a)  $\alpha = 90^\circ$ ; b)  $d \approx 46\text{ cm}$ ; 10.  $v = 2,12\text{ m/s}$ ;

11.  $n = 1,41$ ; 12.  $n = 1$ ; 13.  $r \approx 21,8^\circ$ ; 14. A. 1) convergentă, 2) 8 cm, 4) 24 cm, 5) -12 cm; B. 1) convergen-

tă, 2) 18 cm, 4) -36 cm, 5) 36 cm; C. 1) divergentă, 2) -6 cm, 4) -4 cm, 5) 2 cm; D. 1) divergentă, 2) -6

cm, 4) -3 cm, 5) 3 cm; **Pag. 133:** 1. c; 2. a; 3. b; 4. a; 5. c; 6. b; 7. c; 8. d; 9. a;

**Pag. 141-142:** 1.  $C_1 > C_2 > C_3$ ; 2.  $Q = 37\,680\text{ J}$ ; 3.  $m_x = \frac{m[c(t_v - t) + f \cdot \lambda]}{q}$ ; 4.  $m_x = \frac{m \cdot v^2}{4(c \cdot \Delta t + \lambda)} = 0,38\text{ kg}$ ;

5. 5 V; da, de același ordin de mărime cu tensiunile unor baterii electrice dar mult mai mica decât tensi-

unea folosită pentru alimentarea aparatelor electrocasnice; 6.  $\approx 18^\circ\text{C}$ ; 7. 6  $\Omega$  și 8  $\Omega$ ; 8. a)  $R/3$ ; b)  $3R/4$ ;

9. a) 6  $\dot{\text{U}}$ ; b) 50 V; c) 40%, 60%; 10.  $\approx 21\text{ min}$ ; 11.  $\approx 200\text{ s}$ ; 13. d); 14. b); 15. d); 16. 20 cm; 17.  $120^\circ$ ;

18.  $n = 2/\sqrt{3}$ ; 19. reală, răsturnată și mai mică decât obiectul; 20. 3 cm, în jos; 21. 4f. 22. a). 20 cm; b) 0,5 T;

c) 5 A; d) 40 cm

## Bibliografie

1. Anexa nr. 2 la ordinul ministrului educației naționale nr. 3393/ 28.02.2017, Ministerul Educației Naționale, *Programa școlară pentru disciplina fizică, clasele a VI-a – VIII-a*, <http://programe.ise.ro/Portals/1/Curriculum/2017-progr/25-Fizica.pdf>
2. Bostan, C.G., Perjoiu, R., Stoica, I., Țura, M.M., 2018, *Fizica: manual pentru clasa a VI-a*, Editura Didactică și Pedagogică, București
3. Bostan, C.G., Perjoiu, R., Stoica, I., Țura, M.M., 2020, *COMPENDIU DE FIZICĂ-Teorie și aplicații practice pentru clasa a VII-a*, Editura Didactică și Pedagogică, București
4. Bostan, Carmen-Gabriela, 2010 *The new technologies in teaching and learning Physics* [https://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpe-mptl-2010-reims-international-conference/gallery\\_files/site/1/90/4401/22908/29678/29796.pdf](https://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpe-mptl-2010-reims-international-conference/gallery_files/site/1/90/4401/22908/29678/29796.pdf)
5. College Physics, <http://openstaxcollege.org>
6. Corega C., Haralamb D., Talpalaru S., (1999), *Fizică, manual pentru clasa a VIII-a*, Ed. Teora. București
7. Fizica mereu, <https://fizicaursuv.com/stiati-oare-ca-temperatura-caldura/>
8. Global Ice Viewer, Sentinels of Climate Change, <https://climate.nasa.gov/interactives/global-ice-viewer/#/>
9. Learn Engineering, DC Motor, How it works?, <https://www.youtube.com/watch?v=LAtpHANEfQo>
10. Luca R., (2005), *Învățăm FIZICA rezolvând probleme*, Ed. Polirom, Iași.
11. Măceșanu F., 2014, *Probleme de fizică pentru clasele VII-VIII*, Ed. Art Group Editorial
12. Măceșanu Florin, 2000, *Fizică. Probleme și teste pentru gimnaziu*, Ed. Corint, București
13. Nichita, E., Fronescu, M., Ilie, G., 1982, *Fizică. Manual pentru clasa a VIII-a*, Editura Didactică și Pedagogică, București
14. PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, <https://phet.colorado.edu>
15. Soneria electrica, <https://www.mozaweb.com/ro/>
16. Stoica, I. (2008): *Modern Techniques of Evaluation of the Learning Excellence*, The 7th Congress of the UES, Lisbon, 21.
17. Stoica, I., Moraru S., Miron C., 2010, *An argument for a paradigm shift in the science teaching process by means of educational software*, Conference WCES 2010, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042810007421>
18. Stockley, C., Oxlade, C., Wertheim, J., 2016, *Usborne. Dicționar ilustrat de fizică*, Editura Didactică Publishing House, București
19. Wilson, J.D., Buffa, A.J., Lou, B., 2007, *College Physics, Sixth Edition*, Pearson International Edition, Pearson Education International, Pearson Prentice Hall
20. Young D. Hugh, 2012, *College Physics, Ninth Edition, Pearson New International Edition*, Pearson Education
21. Young D. Hugh, Freedman A. Roger, 2018, *Sears And Zemansky's University Physics With Modern Physics*, 14th Edition, Pearson Education
22. 2019 Arctic Sea Ice Minimum Tied for Second Lowest On Record, <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019-arctic-sea-ice-extent-fourth-lowest-on-record>
23. Spectrul solar si bilantul energetic, <https://www.echipot.ro/istrumente-meteo/radiatia-solara/radiatia-solara-211.html>
24. Trusă instant optică – pentru gimnaziu – Alfa Vega – Satu Mare: <https://www.youtube.com/watch?v=iDr1VcGvQxY>

