

$$P = UI$$

$$Q = I^2 Rt$$

$$I = \frac{q}{t}$$

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{\text{я}}$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$P = UI$$

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

FIZICĂ

NIVEL STANDARD

DUPĂ PROGRAMUL DE ÎNVĂȚĂMÂNT
AL COLECTIVULUI DE AUTORI
SUB CONDUCEREA LUI LOCTEV V. M.

DUPĂ REDACTAREA V. G. BARIAHTAR, S. O. DOVGHI

$$Q = I^2 Rt$$

$$R = \rho \frac{l}{S}$$



$$\bar{v} = \frac{I}{n|e|S}$$

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

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

Manualul este deosebit prin prezența următoarelor materiale:

- Texte și imagini pentru motivarea activității de învățământ
- Algoritmi de rezolvare a principalelor tipuri de probleme fizice
- Însărcinări pentru autoverificare
- Însărcinări experimentale pentru acasă
- Descrieri pas cu pas a lucrărilor de laborator
- Generalizarea și sistematizarea tematică a materialului
- Exemple de aplicare practică a fizicii
- Cunoștințe despre realizările fizicii și tehnicii

Susținerea online a manualului v-a permite:

- să efectuați testarea online după fiecare temă
- să vizualizați experimentul sau procesul fizic

$$\Delta d = k\lambda = 2k \frac{\lambda}{2}$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$\bar{v} = \frac{I}{n|e|S}$$

$$\bar{v} = \frac{I}{n|e|S}$$

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

$$E = h\nu$$

ISBN 978-966-914-217-7



9 789669 142177 >



Supurt online
interactive.ranok.com.ua



2019

INSTRUCȚIA SECURITĂȚII PENTRU ELEVI ÎN TIMPUL PETRECERII LECTIILOR ÎN CABINETUL DE FIZICĂ

1 — Teze generale

- 1.1. În cabinetul de fizică elevii trebuie strict să respecte regulile securității și regulile regimului intern ale instituției de învățământ, orarul orelor de studii, normele stabilite și regimurile de lucru și de odihnă.
- 1.2. Elevii se pot afla în cabinetul de fizică numai în prezența profesorului sau a asistentului de laborator.
- 1.3. Despre fiecare accident, ce a avut loc în procesul de învățământ, trebuie urgent de anunțat profesorul sau asistentul de laborator.
- 1.4. Despre ieșirea din funcțiune și defecțiunile utilajului trebuie imediat de anunțat profesorul.

2 — Cerințele securității în situații extreme

- 2.1. În caz de traumatism, îmbolnăvire etc. imediat anunțați despre aceasta pe profesor.
- 2.2. În cazul apariției aprinderii neprevăzute, incendiului ș. a. imediat anunțați despre aceasta pe profesor.
- 2.3. În caz de evacuare strict îndepliniți instrucțiunile profesorului.

3 — Cerințele securității înainte de a începe lucrarea experimentală

- 3.1. Elucidați precis ordinea și regulile petrecerii în siguranță a lucrării.
- 3.2. Eliberați locul de lucru de toate obiectele și materialele netrebuincioase pentru lucru.
- 3.3. Verificați prezența și siguranța conductoarelor de conexiune, a aparatelor și a altor obiecte, necesare pentru executarea însărcinărilor.
- 3.4. Începeți a executa însărcinarea numai cu permisul profesorului.
- 3.5. Efectuați numai acele însărcinări, care sunt prevăzute în lucrare sau sunt date de către profesor.

4 — Cerințele securității în timpul lucrării experimentale

- 4.1. Lucrați numai la locul vostru de muncă.
- 4.2. Fiți atenți și disciplinați, executați precis indicațiile profesorului.
- 4.3. Repartizați aparatele, materialele, utilajul la locul vostru de muncă astfel, ca să fie evitate căderea sau răsturnarea lor.
- 4.4. În timpul petrecerii experiențelor nu admiteți suprasolicitarea aparatelor de măsurat.
- 4.5. Urmăriți starea bună a tuturor fixărilor în aparate și utilaje. Nu vă atingeți de părțile rotative ale mașinilor și nu vă aplecați deasupra lor.
- 4.6. Pentru montarea instalațiilor experimentale folosiți-vă de conductori cu cleme și huse de siguranță cu izolație trainică și fără defecțiuni vizibile.

- 4.7. Fără permisiunea profesorului nu conectați utilajul electric; nu înlătu-rați de sine stătător defectiunile rețelei electrice și a utilajului electric.
- 4.8. Montând un circuit electric, evitați intersecția conductoarelor; se inter-zice utilizarea conductoarelor cu izolație uzată și a întrerupătoarelor de tip deschis.
- 4.9. Sursa de curent conectați-o la circuit în ultimul rând. Circuitul montat conectați-l numai după verificarea lui și avizul profesorului. Existența tensiunii în circuit poate fi verificată numai cu ajutorul aparatelor sau a indicatoarelor de tensiune.
- 4.10. Nu vă atingeți de elementele circuitului, care nu au izolație și se află sub tensiune. Nu efectuați din nou legături în circuite și nu schimbați siguranțele până la deconectarea sursei de alimentare cu curent electric.
- 4.11. Utilizați instrumente cu mânere izolate.
- 4.12. Nu părăsiți locul de muncă fără permisiunea profesorului.
- 4.13. Găsind o defectiune în utilajul electric, care se află sub tensiune, ime-diat anunțați-l pe profesor despre deteriorare.
- 4.14. Pentru conectarea consumatorilor la rețeaua electrică folosiți-vă de co-nectarea prin fișe de contact.

5 — Cerințele securității după terminarea lucrului

- 5.1. După terminarea lucrului neapărat faceți curat la locul de muncă. Cu-rățenia efectuați-o numai cu avizul profesorului.
- 5.2. Circuitul electric demontați-l numai după deconectarea sursei de ali-mentare cu curent electric.

CE ESTE NECESAR DE ȘTIUT

Despre fenomenul și procesul fizic

- 1) criteriile exterioare, condițiile în care el are loc;
- 2) legătura cu alte fenomene și procese;
- 3) mărimile fizice, care-l caracterizea-ză;
- 4) posibilitățile aplicării practice, meto-dele evitării consecințelor dăunătoare

Despre legea fizică

- 1) formularea; legătura între care fen-o-mene stabilește legea dată;
- 2) expresia matematică;
- 3) experimentele, care au dus la stabili-rea legii sau confirmarea justeții ei;
- 4) limitele aplicării

Despre aparat sau dispozitiv

- 1) menirea;
- 2) construcția;
- 3) principiul de lucru;
- 4) domeniul de aplicare și regulile de utilizare;
- 5) avantajele și neajunsurile

Despre mărimea fizică

- 1) simbolul pentru notare;
- 2) proprietatea, pe care o caracteri-zează mărimea fizică dată;
- 3) determinarea (definiția);
- 4) formula, pusă la baza definiției; legătura cu alte mărimi fizice;
- 5) unitățile;
- 6) metodele de măsurare

FIZICĂ

11

NIVELUL STANDARD

CONFORM PROGRAMEI
COLECTIVULUI DE AUTORI
CONDUS DE LOKTEV V. M.

MANUAL PENTRU CLASA A 11-A
A INSTITUȚIILOR DE ÎNVĂȚĂMÂNT GENERAL
CU PREDAREA ÎN LIMBA ROMÂNĂ/MOLDOVENEASCĂ

DUPĂ REDACTAREA DE V. G. BARIAHTAR,
S. O. DOVGHI

RECOMANDAT DE MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÂNTULUI
ȘI ȘTIINȚEI AL UCRAINEI

ЛЬВІВ
ВИДАВНИЦТВО «СВІТ»
2019

УДК 37.016:53(075.3)
Ф50

Перекладено за виданням:

Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / [Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О.] ; за ред. Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О. — Харків : Вид-во «Ранок», 2019

Авторський колектив:

В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

(наказ Міністерства освіти і науки України від 12.04.2019 № 472)

Видано за державні кошти. Продаж заборонено

Рецензенти:

І. М. Гельфгат, учитель фізики комунального закладу «Харківський фізико-математичний ліцей № 27», учитель-методист, Заслужений учитель України, кандидат фізико-математичних наук;
А. Б. Трофімчук, завідувач кабінету природничих предметів Рівненського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти

Автори й видавництво висловлюють щирю подяку:

М. М. Кірюхіну, президенту Співки наукових і інженерних об'єднань України, кандидату фізико-математичних наук, за слушні зауваження й конструктивні поради;

І. С. Чернецькому, завідувачу відділу створення навчально-тематичних систем знань Національного центру «Мала академія наук України», кандидату педагогічних наук, за створення відеороликів демонстраційних і фронтальних експериментів

Методичний апарат підручника успішно пройшов експериментальну перевірку в Національному центрі «Мала академія наук України»

Ілюстрації художника *Володимира Хорошенка*

Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою Ф50 авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.) : підруч. для 11 кл. з навч. рум./молд. мовами закл. загал. серед. осв. / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого ; пер. Р. Г. Рябко. — Львів : Світ, 2019. — 272 с. : іл., фот.
ISBN 978-966-914-217-7

УДК 37.016:53(075.3)



Supurt online

Materialele în versiune electronică pentru manual sunt amplasate pe site-ul interactive.ranok.com.ua

- © Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О., 2019
- © Хорошенко В. Д., ілюстрації, 2019
- © ТОВ Видавництво «Ранок», 2019
- © Рябко Р. Г., переклад румунською/молдовською мовами, 2019

ISBN 978-966-914-217-7 (рум./молд.)
ISBN 978-617-09-5236-3 (укр.)

Dragi prieteni!

În anul acesta de învățământ voi terminați studierea cursului de fizică. Sperăm, că ați reușit să apreciați demnitățile acestei științe miraculoase despre natură și încercați să aplicați cunoștințele obținute, să fiți conștienți și să explicați fenomenele și procesele, ce au loc în jur. Și din nou cu voi este ajutorul vostru – manualul de fizică. Vă amintim deosebirile lui.

Toate paragrafele manualului se încheie cu rubricile: «*Facem totalurile*», «*Întrebări pentru control*», «*Exercițiu*».



În rubrica «*Facem totalurile*» sunt reprezentate cunoștințe despre principalele noțiuni și fenomene, cu care voi ați făcut cunoștință în paragraf. Așadar, voi aveți posibilitatea mai o dată să atrageți atenția asupra esențialului.



«*Întrebările pentru control*» vă vor ajuta să stabiliți, dacă ați înțeles materialul studiat. Dacă voi veți putea da răspuns la toate întrebările, atunci totul e în ordine; dacă însă nu, din nou adresați-vă la textul din paragraf.



A afla competența sa și a aplica cunoștințele obținute în practică vă va ajuta rubrica «*Exercițiu*». Însărcinările acestei rubrici sunt diferențiate după nivelul de dificultate – de la suficient de ușoare, care necesită numai atenție până la cele creative, rezolvându-le pe care trebuie de demonstrat agerime și perseverență. Numărul fiecărei însărcinări are culoarea sa (în ordinea creșterii dificultății: albastră, verde, portocalie, roșie, violetă).



Printre însărcinări sunt și de acelea, care servesc pentru repetarea materialului, pe care voi deja l-ați studiat în cursul de științe ale naturii, matematică sau la lecțiile anterioare de fizică.



Fizica este știință în primul rând experimentală, de aceea în manual sunt prezente *însărcinări experimentale*. Neapărat efectuați însărcinările experimentale și *lucrările experimentale* – și voi mai bine veți înțelege fizica.



Multe lucruri interesante și folositoare le veți afla datorită *susținerii internet (online)*. Acestea sunt clipuri video, care demonstrează în acțiune unul sau altul experiment sau proces fizic; informația, care vă va ajuta la rezolvarea însărcinărilor; însărcinări de antrenare sub formă de test cu verificare computațională; exemple de rezolvare a problemelor.

Materialele propuse la sfârșitul fiecărui capitol în rubricile «*Facem totalurile capitolului*» și «*Însărcinări pentru autoverificare*» vă vor fi de folos în timpul repetării celor studiate și în timpul pregătirii pentru lucrările de control.

Rubrica «*Fizica în cifre*» servește drept punte, care leagă realizările noi ale tehnicii cu materialul de studiu din paragraf.

Pentru cei ce vor să afle mai multe despre dezvoltarea științei fizice și a tehnicii în Ucraina și în lume, multe lucruri interesante și folositoare se vor găsi în rubricile «*Fizica și tehnica în Ucraina*» și «*Pagina enciclopedică*».

Pentru cei, care deja se gândesc la alegerea viitoarei profesii și tind să știe mai multe despre perspectivele dezvoltării pieței forței de muncă, este destinată rubrica «*Profesiile viitorului*»

Călătorie surprinzătoare în lumea fizicii, succese!

CAPITOLUL 1. ELECTRODINAMICA

PARTEA 1. CURENTUL ELECTRIC CONTINUU

§ 1. CURENTUL ELECTRIC



«Mișcarea lichidului nematerial» – probabil, așa ar fi numit curentul electric creatorul primei teorii despre electricitate fizicianul și politicianul american *Benjamin Franklin* (1706–1790). Acum voi știți bine, că curentul electric reprezintă în sine mișcarea anume a particulelor materiale, dar iată compararea cu lichidul rămâne actuală. Despre aceea, ce este curentul electric, în ce condiții el apare și ce mărimi fizice îl caracterizează, ne vom aminti în acest paragraf.

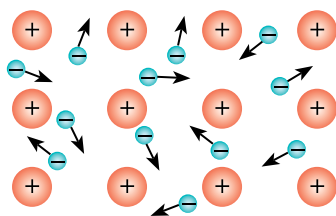


Fig. 1.1. Electronii în conductorul metallic în lipsa câmpului electric se mișcă haotic

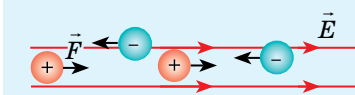
Amintim

■ *Câmpul electric* – o formă a materiei, care se manifestă prin acțiunea asupra particulelor și corpurilor încărcate care se află în acest câmp.

■ Caracteristică a forței câmpului electric în punctul dat este *vectorul intensității*

câmpului electric: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$.

■ Dacă $q > 0$, atunci $\vec{F} \uparrow \uparrow \vec{E}$; dacă $q < 0$, atunci $\vec{F} \downarrow \downarrow \vec{E}$ (\vec{F} – forța, cu care câmpul electric acționează asupra sarcinii q ; \vec{E} – vectorul intensității câmpului electric).



1 Condițiile existenței curentului electric

Să examinăm un conductor metallic. Metalele — acestea-s substanțe policristaline, în nodurile rețelei cristaline ale cărora sunt situați ionii pozitivi; printre ioni «călătoresc» electronii liberi, efectuând o mișcare asemănătoare cu mișcarea moleculelor gazului (fig. 1.1). Dacă în conductorul metallic se creează câmp electric, atunci electronii liberi, fără ași înceta mișcarea sa haotică, încep să se deplaseze în direcție opusă vectorului intensității câmpului electric, adică mișcarea electronilor devine orientată, — în conductor apare *curentul electric*.

■ **Curentul electric** — aceasta-i mișcarea orientată (ordonată) a particulelor, ce au sarcină electrică.

E clar, că nu numai electronii pot crea curent electric. Astfel în electroliți în urma acțiunii câmpului electric se deplasează ionii pozitivi și negativi, iar în gaze — electronii și ionii pozitivi și negativi.

❓ De ce ionii pozitivi se deplasează în direcția intensității câmpului electric, iar cei negativi — în direcție opusă?

Pentru apariția și existența curentului electric sunt necesare două condiții:

1) *prezența particulelor libere încărcate* — purtătorilor de curent;

2) *prezența câmpului electric*, acțiunea căruia creează și susține mișcarea orientată a particulelor încărcate libere.

De crearea câmpului electric «răspund» **sursele de curent** — dispozitivele care transformă diverse forme de energie în energie electrică. În sursele de curent electric se efectuează lucrul de despărțire a sarcinilor electrice de semne diferite, în rezultatul căruia unul din polii sursei obține sarcină pozitivă, iar al doilea — negativă; în așa fel se creează câmpul electric.

Cele mai răspândite surse de curent electric sunt generatoarele electromecanice, în care energia mecanică se transformă în electrică. În ultimul timp pe larg sunt aplicate bateriile solare — surse de curent, în care energia luminii se transformă în energie electrică.

? Ce fel de alte surse de curent electric cunoașteți voi? Ce fel de transformări de energie au loc în ele?

2 Ce este circuitul electric

Cel mai simplu circuit electric reprezintă în sine sursa de curent, *consumatorul energiei electrice și dispozitivul de închidere (întrerupătorul) unite cu conductoare într-o anumită ordine.*

Desenul, pe care cu semne convenționale (vezi tabelul) este arătat din care elemente este compus circuitul electric și în ce mod aceste elemente sunt unite între ele se numește **schemă electrică**.

Atrageți atenția:

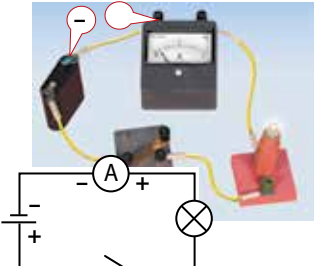
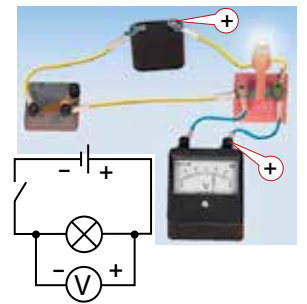
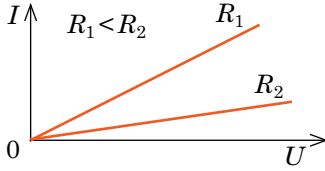
- drept direcție a curentului în circuitul electric este acceptată direcția, în care s-ar fi mișcat în acest circuit particulele încărcate pozitiv, adică direcția de la polul pozitiv al sursei de curent spre cel negativ;
- în semnul convențional al sursei de curent liniuța lungă înseamnă polul pozitiv al sursei, iar cea scurtă — cel negativ.

3 Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit

Pentru o descriere cantitativă a curentului în conductor se aplică următoarele mărimi fizice: *intensitatea curentului* (caracterizează însuși curentul electric), *tensiunea* (caracterizează câmpul, care creează curentul), *rezistența* (caracterizează conductorul). Să ni le amintim.

Semnele convenționale ale unor elemente din circuitul electric

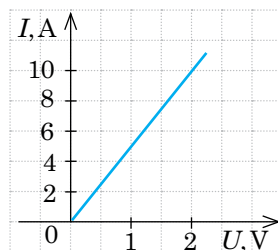
Elementul circuitului electric	Semnul convențional
Elementul galvanic sau acumulatorul	
Bateria de elemente galvanice sau de acumulatori	
Rezistorul	
Reostatul	
Priza	
Unirea conductoarelor	
Intersecția conductoarelor (fără legare)	
Bornele pentru unirea unei porțiuni de circuit	
Cheie	
Elementul încălzitor	
Siguranța	
Becul electric	
Led	
Diodă semiconductoare	
Condensatorul	
Bobină de inductanță	
Electromagnetul	
Difuzorul	
Ampermetrul	
Voltmetrul	
Galvanometrul	

Intensitatea curentului I	Tensiunea U	Rezistența R
<p>Intensitatea curentului într-un conductor — <i>mărimea fizică, ce caracterizează curentul electric și numeric este egală cu sarcina, ce trece prin secțiunea transversală a conductorului într-o secundă:</i></p> $I = \frac{q}{t}$ <ul style="list-style-type: none"> Unitatea de măsură a intensității curentului în SI — amperul: $[I] = 1 \text{ A (A)}$*. Aceasta este o unitate fundamentală a SI. 1 A este egal cu intensitatea curentului care, trecând prin două conductoare paralele de o lungime infinită și de o arie a secțiunii transversale circulare neglijabilă de mică situate în vid la distanța de 1 m unul de altul, ar provoca pe fiecare porțiune a conductoarelor cu lungimea de 1 m o forță de interacțiune de $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$. Aparatul pentru măsurarea intensității curentului — ampermetrul. În circuit ampermetrul se introduce în serie cu consumatorul, în care se măsoară intensitatea curentului. 	<p>Tensiunea electrică pe o porțiune a circuitului — <i>mărimea fizică, care caracterizează câmpul electric pe porțiunea de circuit și numeric este egală cu lucrul câmpului electric de deplasare a sarcinii de 1 C pe această porțiune:</i></p> $U = \frac{A}{q}$ <ul style="list-style-type: none"> Unitatea de măsură a tensiunii în SI — voltul: $[U] = 1 \text{ V (V)}$. 1 V — aceasta-i o asemenea tensiune pe porțiunea de circuit, la care câmpul electric efectuează lucrul de 1 J, deplasând pe această porțiune sarcina de 1 C: $1 \text{ V} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}} \quad (1 \text{ V} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}}).$ <ul style="list-style-type: none"> Aparatul pentru măsurarea tensiunii — voltmetrul. Voltmetrul se leagă în circuitul electric paralel cu porțiunea de circuit, în care trebuie de măsurat tensiunea. 	<p>Rezistența electrică — <i>mărimea fizică, care caracterizează proprietatea conductorului de a se opune trecerii curentului electric.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Unitatea de măsură a rezistenței în SI — ohm-ul: $[R] = 1 \text{ Ohm } (\Omega)$. 1 Ω — aceasta-i rezistența unui astfel de conductor, prin care trece un curent cu intensitatea de 1 A la o tensiune la capetele conductorului de 1 V: $1 \text{ Ohm} = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}} \quad (1 \Omega = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}}).$ <ul style="list-style-type: none"> Rezistența conductorului, care are o secțiune transversală neschimbată este egală cu: $R = \rho \frac{l}{S}$, <p>unde ρ — rezistența specifică a substanței, din care este confecționat conductorul; l — lungimea conductorului; S — aria secțiunii transversale a conductorului.</p> <ul style="list-style-type: none"> Rezistența specifică a substanței — <i>mărimea fizică, care caracterizează proprietățile electrice ale substanței și numeric este egală cu rezistența conductorului, confecționat din ea cu lungimea de 1 m și aria secțiunii transversale de 1 m^2.</i> Unitatea de măsură a rezistenței specifice în SI — Ohm · m: $[\rho] = 1 \text{ Ohm} \cdot \text{m} (\Omega \cdot \text{m})$. Rezistența specifică depinde în mod esențial de temperatură.
<p>Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit</p> <p>Intensitatea curentului într-o porțiune de circuit este direct proporțională cu tensiunea la capetele acestei porțiuni și invers proporțională cu rezistența acestei porțiuni:</p> $I = \frac{U}{R}$		 <p>Caracteristica volt-amperică (CVA) a conductoarelor metalice de rezistență constantă</p>

* Aici și în continuare în paranteze sunt indicate notațiile internaționale ale unităților în SI.

4 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. În figură este prezentată caracteristica volt-amperică a unui conductor cilindric, care are lungimea de 25 m și aria secțiunii transversale de $3,5 \text{ mm}^2$. Din ce metal este confecționat conductorul?



Analiza problemei fizice. Se poate afla din ce metal este confecționat conductorul, dacă se va determina rezistența specifică a lui și de se folosit de tabelul corespunzător (vezi Anexa 1).

Rezistența specifică a metalului o vom afla din formula pentru determinarea rezistenței conductorului cilindric. Rezistența o vom afla, folosind legea lui Ohm și graficul dependenței $I(U)$. Conform graficului la o tensiune, de exemplu, de 2 V intensitatea curentului în conductor constituie 10 A.

Se dă:

$$l = 25 \text{ m}$$

$$S = 3,5 \text{ mm}^2 = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$U = 2 \text{ V}$$

$$I = 10 \text{ A}$$

ρ — ?

Căutarea modelului matematic, rezolvarea. Conform legii lui Ohm::

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I}. \text{ Deoarece } R = \rho \frac{l}{S}, \text{ avem: } \frac{U}{I} = \frac{\rho l}{S}. \text{ Așadar, } \rho = \frac{US}{Il}.$$

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[\rho] = \frac{\text{V} \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{m}} = \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot \text{m} = \text{Ohm} \cdot \text{m}; \quad \rho = \frac{2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 25} = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ (Ohm} \cdot \text{m)}.$$

După tabel (vezi Anexa 1) determinăm, că conductorul este confecționat din aluminiu.

Răspuns: conductorul este confecționat din aluminiu.

PROFESIILE VIITORULUI

Evident, voi deja înțelegeți că lumea noastră se schimbă și multe profesii, care sunt populare acum vor dispărea în viitor. Deci ce profesie trebuie de ales, pentru a nu da greș? Oare e necesar cursul școlar de fizică pentru însușirea aptitudinilor viitoarei profesii? Cunoștințe concise despre unele profesii de perspectivă voi le veți găsi pe paginile manualului.



Specialistul în repararea și deservirea roboților

Chiar și celor mici le este cunoscut despre apropierea erei roboților. Dar roboții, la fel ca și alte mecanisme au nevoie de deservire: instalare, schimbul pieselor uzate ș. a. Pentru așa o muncă trebuie să fii specialist în electricitate și electronică, cunoscător al programării.

Numărul roboților va crește, respectiv va spori și cererea pentru deservirea lor. Deci specialiștii în repararea și deservirea roboților este una dintre profesiile viitorului.



Facem totalurile

- Curentul electric — aceasta-i mișcarea orientată (ordonată) a particulelor, ce au sarcină electrică. Pentru apariția și existența curentului electric sunt necesare prezența particulelor încărcate libere (purtaților de curent) și a câmpului electric. Drept direcție a curentului în circuitul electric este acceptată direcția, în care s-ar fi mișcat în acest circuit particulele încărcate pozitiv (direcția de la polul pozitiv al sursei de curent spre cel negativ).

• Pentru descrierea cantitativă a curentului pe porțiunea de circuit se aplică următoarele mărimi fizice: intensitatea curentului ($I = \frac{q}{t}$); tensiunea pe porțiune ($U = \frac{A}{q}$); rezistența conductorului (rezistența porțiunii). Rezistența conductorului, care are o secțiune transversală, se determină după formula: $R = \rho \frac{l}{S}$.

• Intensitatea curentului într-o porțiune de circuit este direct proporțională cu tensiunea la capetele acestei porțiuni și invers proporțională cu rezistența acestei porțiuni: $I = \frac{U}{R}$ — legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit.



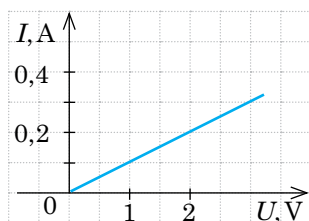
Întrebări pentru control

1. Ce este curent electric? Care sunt condițiile apariției și existenței lui? **2.** Care dispozitive se numesc surse de curent electric? Dați exemple. **3.** Reproduceți, cum se notează pe schemele electrice elementul galvanic; rezistorul; reostatul; ampermetrul; voltmetrul; întrerupătorul. Pentru ce sunt destinate aceste dispozitive? **4.** Care este direcția acceptată a curentului în circuit? **5.** Dați caracteristicile mărimilor fizice: intensitatea curentului în circuit; tensiunea pe porțiunea de circuit; rezistența conductorului; rezistență specifică. **6.** Formulați legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit.



Exercițiul nr. 1

- Dați exemple de consumatori de curent electric. Ce transformări de energie au loc în ei?
- Prin elementul încălzitor al fierului de călcat, la capetele căruia este aplicată o tensiune de 220 V în 0,5 min a trecut sarcina de 300 C. Determinați intensitatea curentului în elementul încălzitor și rezistența elementului.
- În figură este reprezentată caracteristica volt-amperică a unei sârme din nicrom cu aria secțiunii transversale de 0,2 mm². Determinați lungimea sârmei.
- Ce este comun, după părerea voastră, în curgerea lichidului și curentul electric? Ce mărimi fizice, care caracterizează mișcarea lichidului sunt analogice intensității curentului; tensiunii; rezistenței; sarcinii?
- De ce unitățile de măsură ale intensității curentului, tensiunii și rezistenței se scriu cu literă mare? În cinstea cui ele sunt numite? Ce descoperiri au făcut acești învățați?



Fizica și tehnica în Ucraina



Boris Evghenovici Paton (s-a născut în anul 1918) — savant ucrainean, căruia i-au adus faimă mondială cercetările sale în ramura sudării electrice prin arc. În anul 1953 Boris Evghenovici a devenit director la Institutul de sudură electrică în numele lui E.O.Paton (Kiev). Savantul a condus cercetările, în rezultatul cărora a fost creat procesul de sudare electrică cu zgură pentru mărirea calității oțelurilor rezistente la rugină.

Din inițiativa lui B.E.Paton au fost puse bazele sudării în cosmos. El a aplicat în practică sudarea țesuturilor omului în timpul intervențiilor chirurgicale. Această metodologie a păstrat viața a mii de bolnavi și astăzi este aplicată în întreaga lume. Din anul 1962 B.E. Paton este președintele neschimbat al Academiei Naționale de științe a Ucrainei. În anul 2018 savantul și-a sărbătorit jubileul său de 100 de ani. Cu ocazia acestui eveniment el a fost decorat cu medalia de aur a lui Aristotel de către UNESCO, și de asemenea cu mențiuni de stat ale multor țări.

§ 2. LEGAREA ÎN SERIE ȘI ÎN PARALEL A CONDUCTOARELOR. ȘUNTURI ȘI REZISTENȚE SUPLIMENTARE



Amintiți-vă, dacă în ghirlanda pentru brad se defectează unul dintre becuri, atunci toate becurile amplasate în această secțiune încetează să mai lumineze, totodată alte secțiuni funcționează. De ce este așa? Dar de ce becurile din ghirlanda pentru brad, care sunt prevăzute pentru o tensiune de 10 V nu ies din funcțiune cu toate, că tensiunea în rețea este de 220 V?

Sperăm, că voi țineți minte cursul de fizică pentru clasa a 8-a și înțelegeți, că chestia constă în legarea becurilor. Să ne amintim felurile de legare a conductoarelor și principalele proprietăți ale acestor legări.

1 Legarea în serie a conductoarelor

Legarea conductorilor se numește în serie, dacă ea nu conține ramificații, adică conductorii sunt situați consecutiv unul după altul (fig. 2.1). Bineînțeles, că în așa mod se poate lega orice număr de conductori.

Drept exemplu vom studia porțiunea de circuit, care conține două rezistoare legate în serie, iar apoi vom generaliza corelațiile obținute pentru orice număr de conductoare legate în serie.

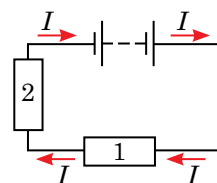


Fig. 2.1. Schema circuitului electric, care conține conductori legați în serie

Intensitatea curentului I	Tensiunea U	Rezistența R
<p>Intensitatea curentului în conductoarele legate în serie este aceeași și este egală cu intensitatea totală a curentului în porțiunea de circuit:</p> $I_1 = I_2 = I$ <p>Într-adevăr, circuitul cu legarea în serie a conductoarelor nu conține ramificații, de aceea sarcina ce trece prin secțiunea transversală a oricărui conductor într-un anumit timp t va fi aceeași: $q_1 = q_2 = q$. Împărțind această egalitate la t, vom obține: $\frac{q_1}{t} = \frac{q_2}{t} = \frac{q}{t}$. Din definiția intensității curentului: $q/t = I$. Deci avem: $I_1 = I_2 = I$.</p>	<p>Tensiunea totală pe conductorii legați în serie este egală cu suma tensiunilor pe acești conductori:</p> $U = U_1 + U_2$ <p>Într-adevăr, dacă câmpul electric, deplasând sarcina q efectuează lucrul A_1 în primul conductor și A_2 — în al doilea, atunci e clar că pentru deplasarea acestei sarcini prin ambele conductoare trebuie să fie efectuat lucrul: $A = A_1 + A_2$. Împărțind ambele părți ale egalității la q și aplicând definiția tensiunii ($U = A/q$), vom obține: $U = U_1 + U_2$.</p>	<p>Rezistența totală a conductorilor legați în serie este egală cu suma rezistențelor acestor conductori:</p> $R = R_1 + R_2$ <p>Într-adevăr, pentru legarea în serie se adevărește egalitatea $U = U_1 + U_2$, adică conform legii lui Ohm: $IR = I_1R_1 + I_2R_2$. Deoarece $I_1 = I_2 = I$, obținem: $IR = IR_1 + IR_2$. După simplificare prin I avem: $R = R_1 + R_2$.</p>
<i>Să generalizăm relațiile date pentru n conductori legați în serie</i>		
$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

Atrageți atenția:

- rezistența totală a conductoarelor legate în serie este mai mare decât rezistența fiecărui conductor;
- rezistența totală a conductoarelor legate în serie, fiecare având rezistența R_0 este egală cu: $R=nR_0$, unde n — numărul conductoarelor.

? Explicați de ce becurile în ghirlanda pentru brad, care sunt prevăzute pentru o tensiune de 10 V nu ies din funcțiune cu toate, că tensiunea în rețea este de 220 V.

2 Legarea în paralel a conductoarelor

Legarea conductoarelor se numește în paralel, dacă pentru trecerea curentului sunt două sau mai multe căi — ramuri și toate aceste ramuri au o pereche de puncte comune — noduri (fig. 2.2). În noduri (puncte nodale) are loc ramificarea circuitului (în fiecare nod se leagă cel puțin trei sârme). Deci, ramificarea este semnul caracteristic al circuitului cu legarea în paralel a conductoarelor.

Să examinăm o porțiune de circuit care conține două rezistoare legate în paralel.

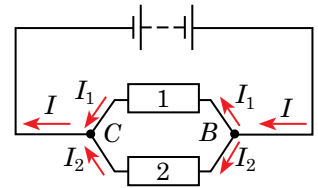


Fig. 2.2. Schema circuitului electric, care conține conductoare legate în paralel. B și C — puncte nodale (noduri)

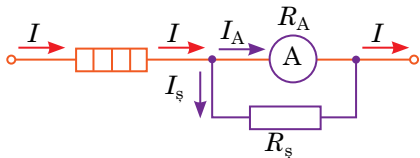
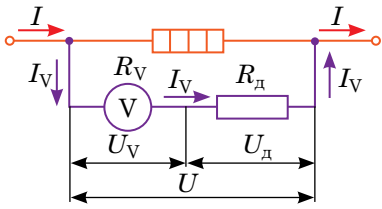
Intensitatea curentului I	Tensiunea U	Rezistența R
<p>În cazul legării în paralel a conductoarelor intensitatea curentului în partea neramificată a circuitului este egală cu suma intensităților curenților în ramificații (în ramurile separate):</p> $I = I_1 + I_2$ <p>Într-adevăr, în punctul nodal curentul se scurge pe două ramuri. Sarcina în punctul nodal nu se acumulează, de aceea sarcina q, care a sosit în nod într-un anumit timp t, este egală cu suma sarcinilor, care au ieșit din nod în același timp: $q = q_1 + q_2$. Împărțim ambele părți ale egalității la t și vom lua în considerare, că $q/t = I$. Avem: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t}$, sau $I = I_1 + I_2$.</p>	<p>Tensiunea totală pe porțiunea de circuit și tensiunea pe fiecare din ramuri legate în paralel este aceeași:</p> $U = U_1 = U_2$ <p>Dacă porțiunea de circuit nu conține sursa de curent, atunci tensiunea pe porțiune este egală cu diferența de potențiale la capetele acestei porțiuni. Adică și pentru porțiunea 1,2, și pentru porțiunea 1, și pentru porțiunea 2 avem: $U_{1,2} = \varphi_B - \varphi_C$; $U_1 = \varphi_B - \varphi_C$; $U_2 = \varphi_B - \varphi_C$. Deci: $U = U_1 = U_2$.</p>	<p>Mărimea inversă rezistenței totale a porțiunii ramificate de circuit, este egală cu suma mărimilor, fiecare din care este inversă rezistenței ramurii respective a acestei ramificări:</p> $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ <p>Deoarece $I = I_1 + I_2$, atunci conform legii lui Ohm: $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$. Pentru legarea în paralel: $U_1 = U_2 = U$, de aceea $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$. După simplificare prin U avem: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.</p>
<i>Generalizăm relațiile date pentru n conductoare legate în paralel</i>		
$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

Atrageți atenția:

- rezistența totală a conductoarelor legate în paralel este mai mică decât rezistența fiecărui conductor;
 - rezistența totală a conductoarelor legate în paralel cu rezistența R_0 fiecare, este egală cu: $R = \frac{R_0}{n}$, unde n — numărul conductoarelor;
 - rezistența a două conductoare legate în paralel este egală cu: $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$.
- ?** Deduceți ultimele două afirmații, folosindu-vă de relațiile pentru legarea în paralel a conductoarelor.

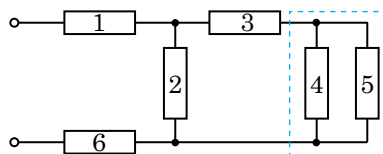
3 Pentru ce trebuie șunturi și rezistențe suplimentare

La fel ca și orice aparate, ampermetrul și voltmetrul au o *limită superioară de măsură* — cea mai mare valoare a mărimii fizice, care poate fi măsurată cu acest dispozitiv. Însă dacă la ampermetru sau voltmetru se va lega un rezistor de o anumită rezistență, atunci limitele măsurării acestor aparate se pot mări.

Șuntul	Rezistența suplimentară
<p>Șuntul — rezistorul, care se conectează în paralel cu ampermetrul cu scopul de a mări limita superioară de măsură a ampermetrului.</p>  <p>În cazul folosirii șuntului curentul se împarte în două părți: o parte îi revine ampermetrului, a doua — șuntului: $I = I_A + I_s$. Să aflăm ce fel de șunt trebuie de conectat în paralel cu ampermetrul pentru a mări limita superioară de măsură a ampermetrului de n ori: $I = nI_A$. Deoarece $I = I_A + I_s$, atunci $nI_A = I_A + I_s$, sau $I_s = I_A(n-1)$. Tensiunea pe șunt și ampermetru este aceeași, de aceea conform legii lui Ohm avem: $\frac{U}{R_s} = \frac{U}{R_A}(n-1) \Rightarrow \frac{1}{R_s} = \frac{n-1}{R_A}$. Deci valoarea rezistenței șuntului se calculează după formula:</p> $R_s = \frac{R_A}{n-1}$	<p>Rezistența suplimentară — rezistorul, care se conectează în serie cu voltmetrul cu scopul de a mări limita superioară de măsură a voltmetrului.</p>  <p>În cazul folosirii rezistenței suplimentare tensiunea se împarte în între voltmetru și rezistența suplimentară: $U = U_V + U_s$. Să aflăm ce fel de rezistență suplimentară trebuie de conectat în serie cu voltmetrul pentru a mări limita superioară de măsură a voltmetrului de n ori: $U = nU_V$. Deoarece $U = U_V + U_s$, atunci $nU_V = U_V + U_s$, sau $U_s = U_V(n-1)$. Intensitatea curentului în rezistor și voltmetru este aceeași, de aceea conform legii lui Ohm avem: $I_V R_s = I_V R_V(n-1)$. Deci rezistența suplimentară necesară se calculează după formula:</p> $R_s = R_V(n-1)$
<p><i>Atrageți atenția!</i> De câte ori crește limita superioară de măsură a aparatului, de atâtea ori crește valoarea diviziunii scării lui.</p>	

4 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. O porțiune de circuit este compusă din rezistoare identice cu rezistența de 8 Ohm fiecare (schema 1). Pe porțiune este aplicată o tensiune de 31,2 V. Determinați rezistența totală a porțiunii, tensiunea pe rezistorul 2, intensitatea curentului în rezistoarele 1 și 6.



Schema 1

Analiza problemei fizice. Circuitul electric conține legături mixte a conductoarelor. De aceea vom simplifica treptat schema 1 dată și, aplicând legea lui Ohm și corelațiile pentru legarea în serie și în paralel a conductoarelor vom afla valorile mărimilor căutate.

Se dă:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = \\ &= R_3 = R_4 = \\ &= R_5 = R_6 = \\ &= R_0 = 8 \text{ Ohm} \\ U &= 31,2 \text{ V} \end{aligned}$$

R — ?

U_2 — ?

I_1 — ?

I_6 — ?

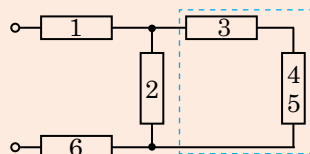
Căutarea modelului matematic, rezolvarea.

Rezistoarele 4 și 5 sunt identice și legate în paralel, de aceea

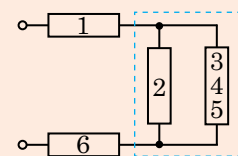
$$R_{4,5} = \frac{R_0}{2} = \frac{8 \text{ Ohm}}{2} = 4 \text{ Ohm}.$$

Deci, în schema 1 putem înlocui rezistoarele 4 și 5 cu un rezistor, rezistența căruia $R_{4,5} = 4 \text{ Ohm}$. Atunci schema inițială primește aspectul schemei 2.

În schema 2 rezistoarele 3 și 4,5 legate în serie le vom înlocui cu rezistorul 3,4,5 cu rezistența $R_{3,4,5} = R_3 + R_{4,5} = 8 + 4 = 12 \text{ (Ohm)}$ și vom obține schema 3.



Schema 2



Schema 3

În schema 3 rezistoarele 2 și 3,4,5 legate în paralel le vom înlocui cu rezistorul cu rezistența

$$R_{2,3,4,5} = \frac{R_2 \cdot R_{3,4,5}}{R_2 + R_{3,4,5}} = \frac{8 \cdot 12}{8 + 12} = 4,8 \text{ (Ohm)} \text{ și vom obține}$$

schema 4, unde rezistoarele sunt legate în serie.

Rezistența totală a porțiunii:

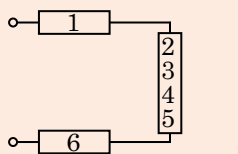
$$R = R_1 + R_{2,3,4,5} + R_6 = 8 + 4,8 + 8 = 20,8 \text{ (Ohm)}.$$

Conform legii lui Ohm: $I = \frac{U}{R} = \frac{31,2}{20,8} = 1,5 \text{ (A)}$.

Analizând schemele 3 și 4, ajungem la concluziile:

$$I_1 = I_{2,3,4,5} = I_6 = I = 1,5 \text{ A}; \quad U_2 = U_{2,3,4,5} = I \cdot R_{2,3,4,5} = 1,5 \cdot 4,8 = 7,2 \text{ (V)}.$$

Răspuns: $R = 20,8 \text{ Ohm}$; $U_2 = 7,2 \text{ V}$; $I_1 = 1,5 \text{ A}$; $I_6 = 1,5 \text{ A}$.



Schema 4

Facem totalurile

- Dacă porțiunea de circuit conține n conductoare legate în serie:
 - intensitatea curentului în toate conductoarele este aceeași și este egală cu intensitatea totală a curentului în porțiune: $I_1 = I_2 = \dots = I_n = I$;
 - tensiunea pe porțiune este egală cu suma tensiunilor pe conductori aparte: $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$;
 - rezistența porțiunii este egală cu suma rezistențelor conductoarelor: $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$.
- Dacă porțiunea de circuit conține n conductoare legate în paralel:
 - tensiunea pe toate conductoarele este aceeași și este egală cu tensiunea pe porțiune: $U_1 = U_2 = \dots = U_n = U$;

— intensitatea totală a curentului în porțiuni este egală cu suma intensităților curentilor în conductori separați: $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$;

— rezistența porțiunii poate fi determinată după formula:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

• Pentru mărirea limitei superioare de măsurare la ampermetru se conectează în paralel șuntul, iar la voltmetru în serie se leagă o rezistență suplimentară.



Întrebări pentru control

1. Care legare a conductoarelor se numește în serie? Care corelații se realizează pentru această legare? Demonstrați-le.
2. Care legare a conductoarelor se numește în paralel? Care corelații se realizează pentru această legare? Demonstrați-le.
3. Cum se poate mări limita superioară de măsurare a voltmetrului?
4. În care caz și cum ampermetrele se conectează cu șunturi?



Exercițiul nr. 2

1. Examinați fig. 1 și determinați: ce dispozitive sunt reprezentate; pentru măsurarea cărei mărimi fizice este destinat fiecare dispozitiv; care este limita superioară de măsurare a fiecărui dispozitiv.
2. Cum, după părerea voastră, sunt legate becurile într-o ramură a ghirlandei pentru brad? sunt legate diferite ramuri ale ghirlandei? De ce în ghirlandă se folosesc câteva ramuri de becuri?
3. De ce consumatorii de curent electric, de care ne folosim în viața de toate zilele, sunt prevăzuți de obicei pentru aceeași tensiune (220 V)?
4. Două rezistoare cu rezistențele de 2 și 3 Ohm au fost conectate la o sursă de curent, tensiunea la capetele căreia este de 12 V. Determinați intensitatea curentului în fiecare rezistor și intensitatea totală a curentului în circuit, dacă rezistoarele sunt legate : a) în serie; b) în paralel.
5. Determinați rezistența totală R a porțiunii de circuit (fig. 2), dacă $R_1 = R_2 = R_3 = R_6 = 3 \text{ Ohm}$, $R_3 = 20 \text{ Ohm}$, $R_4 = 24 \text{ Ohm}$. Cu ce este egală intensitatea curentului în fiecare rezistor, dacă la porțiunea de circuit este aplicată o tensiune de 36 V?
6. Pe porțiunea de circuit, care conține două rezistoare este aplicată o tensiune de 24 V. Când rezistoarele sunt legate în serie, intensitatea curentului în porțiune este egală cu 0,6 A, iar când în paralel — 3,2 A. Determinați rezistența fiecărui rezistor.
7. Miliampermetrul cu scara prevăzută pentru 20 mA trebuie să fie aplicat pentru măsurarea intensității curentului de 1 A. Determinați rezistența șuntului, dacă rezistența miliampermetrului este de 4,9 Ohm.
8. Când în porțiunea de circuit (fig. 3) este închis întrerupătorul, intensitatea curentului care trece prin ampermetru este egală cu 0,45 A. Care este intensitatea curentului care trece prin ampermetru, când întrerupătorul este deschis? Rezistențele rezistoarelor 1 și 3, și 2 și 4 în perechi sunt identice și egale cu R și $2R$ respectiv. Tensiunea pe cleme este constantă. Considerați ampermetrul ideal (adică rezistența ampermetrului $R_A = 0$).



Fig. 1

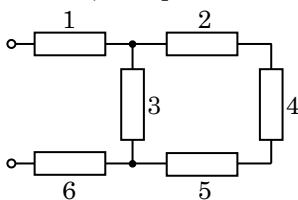


Fig. 2

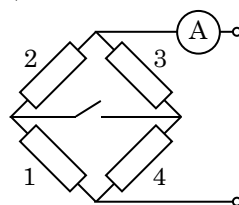


Fig. 3

§ 3. LUCRUL ȘI PUTEREA CURENTULUI ELECTRIC. LEGEA LUI JOULE — LENZ



Astăzi curentul electric se folosește practic pretutindeni. Diverse dispozitive electrice de uz casnic, utilajul automobilelor, industria chimică, medicina, mijloacele de comunicație... Fiecare dintre voi poate numi câteva zeci de dispozitive, acțiunea cărora se bazează pe utilizarea energiei electrice, care în aceste dispozitive se transformă în alte feluri de energie. Câmpul electric totodată efectuează un lucru, care se numește *lucrul curentului*. Să ne amintim cum el poate fi determinat.

1 Cum să determinăm lucrul și puterea curentului electric

Să examinăm porțiunea de circuit, la care este aplicată tensiunea U și prin care trece curentul electric continuu cu intensitatea I . Aceasta poate fi orice conductor: bobina motorului electric, gazul ionizat în tubul luminiscent, spirala elementului încălzitor al fierului de călcat etc. Dacă într-un anumit timp t prin secțiunea transversală a conductorului trece sarcina q , atunci câmpul electric efectuează lucrul $A = qU$.

Exprimând sarcina q prin intensitatea curentului I și timpul t ($q = It$), obținem *formula pentru calculul lucrului curentului electric pe porțiunea dată a circuitului*:

$$A = UI t$$

Unitatea de măsură a lucrului curentului în SI — joule:

$$[A] = 1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s} \quad (1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}).$$

În electrotehnică se aplică unitatea de măsură a lucrului curentului *în afara sistemului* — **kilowatt-oră**: $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ ($1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$). Anume în astfel de unități de măsură prezintă lucrul *contorul de energie electrică* (fig. 3.1).

Pe contorul electric sunt prezente valorile mai a trei mărimi fizice. Una dintre ele indică, la circuitul cu ce fel de tensiune trebuie de conectat contorul electric, a doua — intensitatea maximală admisibilă a curentului în dispozitiv, a treia — frecvența curentului alternativ în rețea (vezi § 19). După valorile primelor două mărimi se determină *puterea maximală admisibilă a consumatorilor*, care pot fi conectați prin contorul electric.

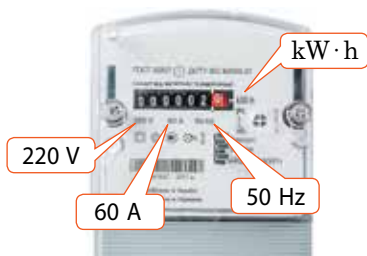


Fig. 3.1. Contor de energie electrică — aparat pentru măsurarea directă a lucrului curentului

Puterea curentului P — mărimea fizică, care numeric este egală cu lucrul curentului într-o unitate de timp:

$$P = \frac{A}{t},$$

unde A — lucrul efectuat de către curent în timpul t .

Luând în considerație, că $A = UI t$, avem:

$$P = UI,$$

unde U — tensiunea pe porțiunea de circuit, pe care se determină puterea; I — intensitatea curentului în porțiune.

Unitatea de măsură a puterii în SI — **wattul**:

$$[P] = 1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ A} \cdot \text{V} \quad \left(1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ A} \cdot \text{V} \right).$$

Atrageți atenția! Formulele date se adeveresc întotdeauna pentru curentul continuu și au anumite limite de aplicare în cazul curentului alternativ (vezi § 20).

? Pentru ce putere maximă este prevăzut conectorul electric din [fig. 3.1](#)?

2 Legea lui Joule — Lenz

Orice conductor se încălzește în timpul trecerii curentului electric ([fig. 3.2](#)). Aceasta are loc de aceea, că particulele libere încărcate în conductor sunt accelerate de către câmpul electric și, ciocnindu-se de alte particule, le transmit lor o parte din energia sa cinetică. Ca urmare energia interioară a conductorului se mărește — conductorul se încălzește.

Bineînțeles, că temperatura conductorului cu curent nu crește până la infinit, deoarece prin conductibilitatea termică el cedă o parte din energia obținută corpurilor înconjurătoare. Cu cât este mai înaltă temperatura conductorului, cu atât mai multă energie el cedează. Cu timpul cantitatea de căldură, ce se degajă în conductor va fi egală cu cantitatea de căldură, ce se cedă mediului înconjurător și conductorul va înceta să se încălzească.

Legea, care determină cantitatea de căldură ce se degajă în conductorul cu curent și pe care el o cedă mediului înconjurător a fost descoperită pe cale experimentală independent unul de altul de către fizicianul englez *James Prescott Joule* (1818–1889) și fizicianul rus *Emilii Hristianovici Lenz* (*Heinrich Lenz*) (1804–1865). Cu timpul această lege a primit denumirea de **legea lui Joule — Lenz**:

Cantitatea de căldură Q , care se degajă în conductorul cu curent este direct proporțională cu pătratul intensității curentului I , rezistența R a conductorului și timpului trecerii curentului t :

$$Q = I^2 R t$$

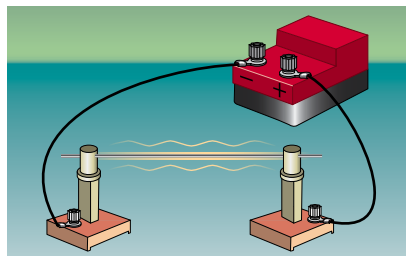


Fig. 3.2. Dacă printr-o sârmă de metal va trece curentul electric, sârma se va încălzi; ne semnificativ se vor încălzi și conductoarele de conexiune

Atrageți atenția!

■ *Lucrul curentului continuu* întotdeauna poate fi determinat după formula:

$$A = U I t.$$

■ *Cantitatea de căldură*, ce se degajă în conductor întotdeauna poate fi determinat după formula:

$$Q = I^2 R t.$$

■ Dacă porțiunea de circuit conține *numai consumatori*, în care *toată energia se consumă numai pentru încălzire* (rezistoare, elemente încălzitoare etc.) lucrul curentului este egal cu cantitatea de căldură. În acest caz și *lucrul curentului și cantitatea de căldură* se pot determina prin oricare dintre aceste formule:

$$A = U I t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t = Q,$$

iar *puterea curentului* — după oricare dintre aceste formule:

$$P = U I = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

Formulele $A = I^2 R t = Q$, $P = I^2 R$ e comod de le aplicat, dacă conductoarele sunt legate *în serie* (intensitatea curentului în conductoare este aceeași).

Formulele $A = \frac{U^2}{R} t = Q$, $P = \frac{U^2}{R}$ e comod de le aplicat, dacă conductoarele sunt legate *în paralel* (tensiunea pe conductoare este aceeași).



Fig. 3.3. Partea principală a oricărui aparat de încălzire — elementul încălzitor, care reprezintă în sine un conductor confecționat din material greu fuzibil cu o rezistență specifică mare, ce are o arie a secțiunii transversale mică (în comparație cu conductoarele de conexiune)

Analizând legea lui Joule — Lenz, ajungem la concluzia: dacă în diferite porțiuni ale circuitului intensitatea curentului este aceeași, atunci în porțiunea care are o rezistență mai mare se degajă o cantitate mai mare de căldură. Deci, măririi rezistenței unei anumite porțiuni de circuit se poate ajunge la aceea, că aproape toată căldura se va degaja anume aici. Astfel funcționează aparatele electrice de încălzire (fig. 3.3), *elementul încălzitor* al cărora are o arie a secțiunii transversale mică și este confecționat din material cu o rezistență specifică mare (nicrom, constantan). Însă conductoarele de conectare, invers, au o arie a secțiunii transversale comparativ mare și sunt confecționate din materiale cu rezistență specifică mică (cupru, aluminiu, oțel). Ca urmare rezistența conductoarelor de conectare este cu mult mai mică decât rezistența elementului încălzitor și de aceea ele aproape că nu se încălzesc.

? De ce se poate afirma, că intensitatea curentului în conductoarele cablului de conectare al aparatului de încălzire este egală cu intensitatea curentului în elementul încălzitor?

3 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Motorul electric al unui electromobil pentru copii este alimentat de la o baterie de acumulatori, tensiunea la capetele căreia constituie 12 V. Intensitatea curentului în bobina motorului — 6 A. Determinați rezistența bobinei, dacă randamentul motorului este de 80%. Pierderile de energie la frecare neglijați-le.

Analiza problemei fizice. Pentru rezolvarea problemei ne vom folosi de formula pentru determinarea randamentului. Pierderile de energie la frecare le neglijam, de aceea energia electrică (ea este egală cu lucrul curentului) se consumă pentru lucrul (mecanic) util și pentru încălzirea înfășurării motorului în urma trecerii curentului electric: $A_{\text{total}} = A_{\text{util}} + Q$.

Se dă:

$$U = 12 \text{ V}$$

$$I = 6 \text{ A}$$

$$\eta = 80\% = 0,8$$

$R = ?$

Căutarea modelului matematic, rezolvarea.

Conform definiției randamentului: $\eta = \frac{A_{\text{util}}}{A_{\text{total}}}$.

Deoarece $A_{\text{total}} = UIt$, iar $A_{\text{util}} = A_{\text{total}} - Q$, unde $Q = I^2Rt$ conform

legii lui Joule — Lenz, atunci $\eta = \frac{A_{\text{util}}}{A_{\text{total}}} = \frac{UIt - I^2Rt}{UIt}$. După simplifi-

care prin It avem: $\eta = \frac{U - IR}{U}$. De aici obținem formula pentru de-

terminarea rezistenței înfășurării: $R = \frac{U(1 - \eta)}{I}$.

Verificăm unitatea de măsură, aflăm valoarea mărimii căutate:

$$[R] = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \text{Ohm}; \quad R = \frac{12 \cdot (1 - 0,8)}{6} = 0,4 \text{ (Ohm)}.$$

Răspuns $R = 0,4 \text{ Ohm}$.



Facem totalurile

- Lucrul curentului pe o porțiune de circuit este egal cu produsul dintre tensiunea pe porțiune, intensitatea curentului în porțiune și timpul, în care este determinat acest lucru: $A = UI t$.
- Puterea curentului numeric este egală cu lucrul curentului într-o unitate de timp: $P = \frac{A}{t} = UI$.
- Cantitatea de căldură Q , care se degajă în conductorul cu curent este direct proporțională cu pătratul intensității curentului, rezistența conductorului și timpului trecerii curentului: $Q = I^2 R t$ (legea lui Joule — Lenz).



Întrebări pentru control

1. După care formulă se calculează lucrul curentului? Care sunt unitățile de măsură ale lucrului curentului? 2. Demonstrați, că $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$. 3. Formulați legea lui Joule — Lenz. De ce ea are această denumire? 4. Ce formule de calcul a cantității de căldură, care se degajă de către conductor în timpul trecerii prin el a curentului, le cunoașteți? Oare totdeauna le putem folosi? 5. Dați caracteristica puterii curentului ca mărime fizică.



Exercițiul nr. 3

1. Două becuri sunt legate în paralel și conectate la rețeaua electrică, care are la ieșire tensiunea de 220 V. Puterea reală a becurilor — 6 și 10 W. Determinați: a) rezistența fiecărui bec, b) intensitatea curentului în becuri; c) energia, pe care becurile o consumă împreună în 2 ore.
2. Cum se va schimba strălucirea becului de incandescență, dacă cursorul reostatului se va deplasa la stânga (fig. 1)? Argumentați-vă răspunsul.
3. După datele din fig. 2 determinați: a) rezistența elementului încălzitor al boilerului; b) intensitatea curentului în elementul încălzitor; c) timpul, în care boilerul încălzește 10 l de apă de la 20 până la 70 °C. Randamentul boilerului — 90%; capacitatea termică specifică a apei — 4200 J/(kg · °C).
4. Care este intensitatea curentului în bobina motorului macaralei electrice, dacă platforma cu o încărcătură cu masa totală de 240 kg ea o ridică la înălțimea de 6 m în 50 s? Randamentul macaralei — 60%, tensiunea pe borne — 48 V.
5. Două reșouri electrice, spiralele cărora au aceeași rezistență, mai întâi au fost conectate la rețea în serie, iar apoi în paralel. În ce caz reșourile au consumat o putere mai mare și de câte ori?
6. Aflați care este construcția unuia dintre încălzitoarele moderne de apă. Care particularități ale construcției lui permit ca apa să se încălzească repede, să se păstreze caldă, să se conecteze și deconecteze la timp curentul? Compuneți 2–3 probleme despre acest dispozitiv și rezolvați-le.

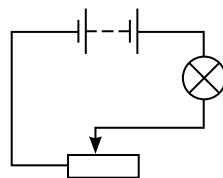


Fig. 1



Fig. 2



Însărcinare experimentală

Determinați randamentul ceainicului electric, de care vă folosiți voi sau cunoșcuții voștri.

§ 4. FORȚA ELECTROMOTOARE. LEGEA LUI OHM PENTRU UN CIRCUIT ÎNCHIS



Fiecare din voi, probabil, nu o dată ați cumpărat baterii sau acumulatori. Pe cele mai răspândite din ele este scris: 1,5 V. Dar știți voi oare ce semnifică aceasta? Nu vă grăbiți cu răspunsul până nu veți citi acest paragraf!

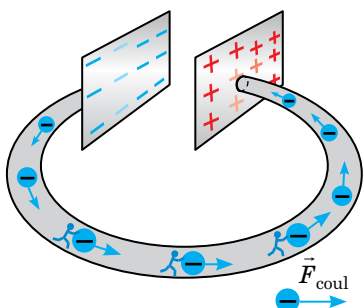


Fig. 4.1. Sub acțiunea forțelor coulombiene electronii se mișcă în conductor de la placa încărcată negativ spre cea încărcată pozitiv, ca urmare plăcile își pierd sarcina (devin neutre din punct de vedere electric)

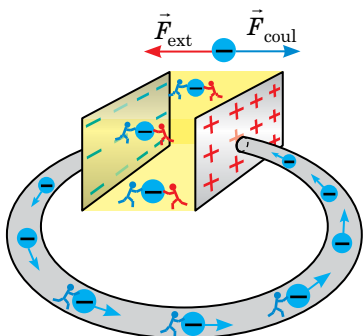


Fig. 4.2. În interiorul sursei datorită acțiunii forțelor exterioare \vec{F}_{ext} sarcinile negative se deplasează de la polul pozitiv spre cel negativ, adică în direcția opusă direcției forțelor coulombiene, care de asemenea acționează în interiorul sursei

1 Care forțe se numesc exterioare

Dacă la capetele unei sârme metalice se va crea o diferență de potențial, de exemplu capetele sârmei se vor conecta la armăturile unui condensator încărcat, atunci sub acțiunea forțelor coulombiene \vec{F}_{coul} electronii în interiorul conductorului vor începe să se miște orientat și în conductor va lua naștere curent electric (fig. 4.1).

Pentru ca curentul electric să existe un timp îndelungat, trebuie printr-un oarecare mod în continuu «să se atragă» electronii pe placa încărcată negativ. Această «atrageră» nu poate avea loc sub acțiunea forțelor coulombiene, care învers împiedică mișcarea electronilor, doar sarcinile de același semn se resping. Urmează să fie folosite forțe de altă natură — neelectrostatică (necoulombiene) — de altă proveniență.

Orice forțe, care acționează asupra particulelor încărcate și nu sunt coulombiene se numesc **forțe exterioare**.

Forțele exterioare «funcționează», de exemplu, în interiorul sursei de curent (fig. 4.2). Natura forțelor exterioare poate fi diferită: ele pot apărea în rezultatul reacțiilor chimice (în elementele galvanice și acumulatori), în timpul variației câmpului magnetic (în generatoarele electromagnetice, motoarele electrice), datorită acțiunii luminii (în fotoelemente, leduri) etc.

Dacă se va conecta consumatorul la sursa de curent, vom obține un *circuit electric închis* (fig. 4.3). Pe partea interioară a acestui circuit «lucrează» forțele exterioare, care mențin diferența de potențial constantă la ieșirea sursei. Pe partea exterioară forțele coulombiene creează o mișcare orientată a particulelor libere încărcate — prin consumator și conductoarele de conexiune curge curent electric continuu.

Acțiunea forțelor exterioare este asemănătoare cu acțiunea pompei, care face ca apa să se miște în direcție opusă forței de greutate și să urce la o anumită înălțime. Dar iată în jos apa se mișcă sub acțiunea forței de greutate, asemănător cum sub acțiunea forțelor coulombiene se mișcă electronii liberi în porțiunea exterioară a circuitului electric (fig. 4.4).

? Examinați fig. 4.4. Determinați care este analogul mecanic al sursei de curent; al conductoarelor de conexiune; consumatorului de curent.

2 Tensiunea electromotoare

Mutând sarcinile în interiorul sursei de curent, forțele exterioare efectuează un anumit lucru. Lucrul forțelor exterioare este caracterizat de *tensiunea electromotoare (TEM)**, care este caracteristica fundamentală a sursei de curent.

Tensiunea electromotoare \mathcal{E} a sursei de curent — mărime fizică scalară care caracterizează proprietățile energetice ale sursei de curent și este egală cu raportul dintre lucrul forțelor exterioare A_{ext} pentru deplasarea sarcinii pozitive q în interiorul sursei și valoarea acestei sarcini:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ext}}}{q}$$

Unitatea de măsură a TEM în SI — **voltul**:
 $[\mathcal{E}] = 1 \text{ V (V)}$.

TEM a sursei de curent este egală cu 1 V, dacă forțele exterioare care acționează în sursă efectuează un lucru de 1 J, deplasând sarcina +1 C de la polul negativ al acestei surse la cel pozitiv.

? Ce lucru au efectuat forțele exterioare în interiorul sursei reprezentate în fig. 4.5, dacă în timpul convorbirii la telefon prin circuit s-a deplasat sarcina de +5 C?

3 Legea lui Ohm pentru un circuit închis

Să examinăm cel mai simplu circuit electric (fig. 4.6). Partea exterioară a acestui circuit (conductoarele de conexiune și încălzitorul) are rezistența R . Partea interioară a circuitului

* Menționăm, că denumirea acestei mărimi fizice este nereușită: tensiunea electromotoare este un lucru, dar nu o tensiune în sensul obișnuit, «mechanic». Dar acest termen s-a stabilit. (Tensiune și Forță electromotoare sunt sinonime de sens).

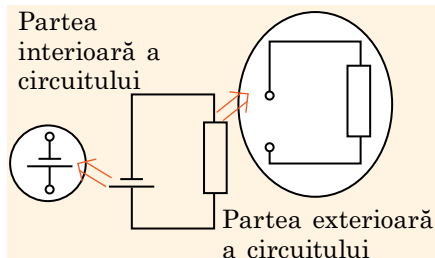


Fig. 4.3. Circuitul închis se compune din două părți — interioară (sursa de curent) și exterioară (consumatorul + conductoarele de conexiune)

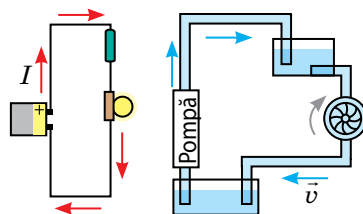


Fig. 4.4. Analogia între curentul electric și curgerea lichidului



Fig. 4.5. Bateria de acumuloare litiu-ionică pentru telefon. FEM a bateriei este indicată pe suprafața ei

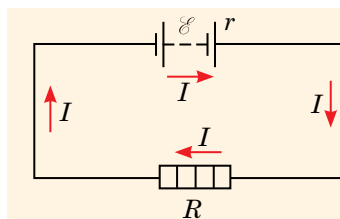
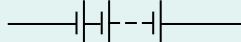


Fig. 4.6. Consumatorul și sursa de curent sunt legate în serie, de aceea intensitatea curentului în ele este aceeași

Atrageți atenția!

Pentru rezolvarea diverselor probleme electrotehnice sursele de curent se unesc în baterii.

■ Pentru mărirea TEM totale se folosește *bateria de surse de curent unite în serie*:

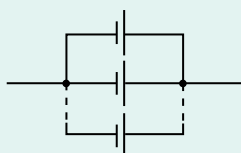


În cazul legării în serie a n surse identice de curent, fiecare dintre care are TEM \mathcal{E}_0 și rezistența interioară r_0 , TEM totală se mărește:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_n = n\mathcal{E}_0.$$

Totodată se mărește și rezistența interioară a bateriei: $r = nr_0$, de aceea legarea în serie se aplică, când rezistența interioară a surselor este cu mult mai mică decât rezistența exterioară a circuitului.

■ Dacă rezistența interioară a sursei este comparabilă sau mai mare decât rezistența exterioară a circuitului, atunci rezistența interioară totală poate fi micșorată, dacă se va folosi o *baterie de surse de curent legate în paralel*:



În cazul legării în paralel a n surse identice de curent, fiecare dintre care are TEM \mathcal{E}_0 și rezistența interioară r_0 , EPC TEM a bateriei nu se schimbă:

$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0$, iar rezistența interioară scade de n ori: $r = \frac{r_0}{n}$.

❓ Cum trebuie de unit sursele de curent, dacă este necesar în același timp de mărit TEM și de micșorat rezistența interioară? Astfel, printre altele, sunt unite «sursele de curent» în «baterii» la torpila electrică.

(sursa de curent) are TEM și rezistența r (rezistența electrolitului și a electrozilor). *Rezistența sursei de curent se numește rezistență interioară a sursei.*

Dacă intensitatea curentului în circuit este egală cu I , atunci conform legii lui Joule — Lenz în timpul t în porțiunile exterioară și interioară ale circuitului în total se va degaja o anumită cantitate de căldură: $Q = I^2 R t + I^2 r t$. Să clarificăm de unde se ia această energie.

În circuit în același timp «lucrează» și forțele coulombiene și cele exterioare: $A = A_{\text{coul}} + A_{\text{ext}}$. Însă *forțele coulombiene sunt potențiale* — lucrul lor într-un contur închis este egal cu zero: $A_{\text{coul}} = 0$ (în porțiunea exterioară a circuitului forțele coulombiene efectuează un lucru pozitiv, iar în porțiunea interioară — negativ). Deci, energie se degajă numai datorită forțelor exterioare: $Q = A_{\text{exit}}$.

Deoarece $A_{\text{exit}} = \mathcal{E} q$, iar $q = It$, obținem: $I^2 R t + I^2 r t = \mathcal{E} I t$. După simplificare prin It obținem: $I(R+r) = \mathcal{E}$, unde $R+r$ — *rezistența totală a circuitului*. Din ultima egalitate avem **legea lui Ohm pentru un circuit închis**:

■ Intensitatea curentului într-un circuit electric închis este egală cu raportul dintre TEM a sursei de curent și rezistența totală a circuitului:

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

4 Ce este scurtcircuitul

Annual în Ucraina au loc peste 40 de mii de incendii și deseori cauza lor este *scurtcircuitul*.

■ **Scurtcircuit** se numește conectarea capetelor unei porțiuni de circuit, care se află sub tensiune cu un conductor cu o rezistență foarte mică în comparație cu rezistența acestei porțiuni.

Scurtcircuitul poate lua naștere în urma deteriorării izolației, dacă două conductoare neizolate conectate la consumator, se vor atinge unul de altul, sau în timpul reparării elementelor circuitului, care se află sub tensiune (*amintim: aceasta prezintă pericol de moarte!*).

În timpul scurtcircuitului intensitatea curentului în circuit crește de câteva ori, ceea ce conform legii lui Joule — Lenz duce la supraîncălzirea conductoarelor și ca urmare — la incendiu. Anume din această *cauză instalația electrică neapărat trebuie să conțină siguranțe.*

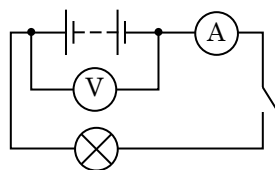
Conectarea cu polii sursei de curent a unui conductor cu o rezistență foarte mică ($R \rightarrow 0$) de asemenea cauzează scurtcircuitul. Intensitatea curentului scurtcircuitului este maximă pentru sursa dată și se determină după formula:

$$I_{c.s.} = \frac{\mathcal{E}}{r},$$

unde \mathcal{E} — TEM a sursei de curent; r — rezistența interioară a sursei.

5 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. La o baterie de elemente galvanice au fost conectate un bec de incandescență, un întrerupător, ampermetrul și voltmetrul (vezi desenul). La început întrerupătorul era deconectat, iar indicația voltmetrului — 5,6 V. După ce a fost conectat întrerupătorul, indicația voltmetrului a devenit — 4,8 V, iar a ampermetrului — 0,8 A. Determinați TEM și rezistența interioară a sursei de curent și de asemenea randamentul sursei la așa o sarcină. Considerați aparatele ideale.



Se dă:

$$U_1 = 5,6 \text{ V}$$

$$U_2 = 4,8 \text{ V}$$

$$I_2 = 0,8 \text{ A}$$

Căutarea modelului matematic, rezolvarea.

Vom nota legea lui Ohm pentru un circuit închis ($I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$) sub forma:

$\mathcal{E} = I(R+r) = IR + Ir$. Deoarece $IR = U$, obținem:

$$\mathcal{E} = U + Ir. \quad (*)$$

\mathcal{E} — ?

r — ?

η — ?

1) Dacă întrerupătorul este deconectat, iar voltmetrul ideal ($R_V \rightarrow \infty$), intensitatea curentului în circuit este egală cu zero ($I = 0$) și formula (*) primește aspectul: $\mathcal{E} = U$.

Deci, $\mathcal{E} = U_1 = 5,6 \text{ V}$.

2) TEM și rezistența interioară a sursei nu depind de sarcină, de aceea cunoscând TEM, tensiunea și intensitatea curentului în circuit la închiderea circuitului și folosindu-ne de formula (*) vom determina rezistența internă a sursei:

$$\mathcal{E} = U + Ir \Rightarrow r = \frac{\mathcal{E} - U}{I}; \quad r = \frac{\mathcal{E} - U_2}{I_2} = \frac{5,6\text{V} - 4,8\text{V}}{0,8\text{AA}} = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}} = 1 \text{ Ohm}.$$

3) Conform definiției randamentul: $\eta = \frac{A_{\text{util}}}{A_{\text{total}}}$, unde $A_{\text{util}} = \mathcal{E}It$ — lucrul total al

forțelor exterioare în interiorul sursei de curent; $A_{\text{util}} = UIt$ — lucrul curentului în

porțiunea exterioară a circuitului. Definitiv avem: $\eta = \frac{UIt}{\mathcal{E}It} = \frac{U}{\mathcal{E}}$; $\eta = \frac{U_2}{\mathcal{E}} = \frac{4,8\text{V}}{5,6\text{V}} = \frac{6}{7} \approx 0,86$.

Analiza rezultatelor. Vedem, că *randamentul sursei de curent depinde de sarcină.* Și aceasta într-adevăr este așa: odată cu micșorarea rezistenței exterioare crește intensitatea curentului în circuit și deci, crește și cantitatea de căldură, ce se degajă în sursă, adică se consumă în zadar.

Răspuns: $\mathcal{E} = 5,6 \text{ V}$; $r = 1 \text{ Ohm}$; $\eta = 86 \%$.



Facem totalurile

• Orice forțe, care acționează asupra particulelor încărcate și nu sunt coulombiene se numesc forțe exterioare. Anume forțele exterioare, «lucrând» în interiorul sursei de curent, mențin tensiunea la polii ei.

• Caracteristica fundamentală a sursei de curent – tensiunea electromotoare (TEM) — mărimea fizică scalară care este egală cu raportul dintre lucrul forțelor exterioare A_{ext} pentru deplasarea sarcinii pozitive q în interiorul sursei și valoarea acestei sarcini: $\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ext}}}{q}$.

• Intensitatea curentului într-un circuit electric închis este egală cu raportul dintre TEM a sursei de curent și rezistența totală a circuitului: $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$, unde R și r — rezistențele porțiunilor exterioară și interioară ale circuitului respectiv. Această afirmație este legea lui Ohm pentru un circuit închis.



Întrebări pentru control

1. Care forțe se numesc exterioare? 2. Caracterizați TEM (FEM) ca mărime fizică. 3. Folosind legea conservării energiei, legea lui Joule — Lenz și definițiile TEM și a intensității curentului, obțineți legea lui Ohm pentru un circuit închis. Formulați această lege. 4. Ce se numește scurtcircuit? Dați exemple. 5. Cum se calculează intensitatea curentului scurtcircuitului? 6. Cum și de ce randamentul sursei de curent depinde de sarcină?



Exercițiul nr. 4

Dacă nu se menționează altceva, atunci neglijați rezistența conductoarelor de conexiune.

- La o sursă de curent cu TEM de 6 V și rezistența interioară de 2 Ohm este conectat un rezistor cu rezistența de 10 Ohm. Determinați: a) intensitatea curentului în circuit; b) tensiunea la polii sursei de curent.
- La polii unei surse de curent cu TEM de 4 V s-a conectat un bec cu rezistența de 8 Ohm și în rezultat în circuit intensitatea curentului s-a stabilit de 0,4 A. Determinați rezistența interioară a sursei de curent.
- Pentru determinarea TEM și a rezistenței interioare a sursei de curent s-a montat circuitul electric (fig. 1). Când ambele întrerupătoare erau închise, indicațiile ampermetrului au fost de 1,8 A. După ce unul dintre întrerupătoare a fost deschis, indicațiile ampermetrului au devenit de 1 A. Ce rezultate s-au obținut?
- Determinați puterea, pe care o consumă fiecare dintre trei rezistoare (fig. 2) și randamentul sursei de curent la așa o sarcină, dacă TEM a sursei este de 12 V, iar rezistența ei interioară — 6 Ohm.
- Aflați, cum este compus organul electric al torpilei electrice (fig. 3) sau al țiparului electric, ce TEM el creează, care sunt puterea descărcării electrice, intensitatea curentului și tensiunea în timpul descărcării. Folosind datele obținute, compuneți 2–3 probleme și rezolvați-le.

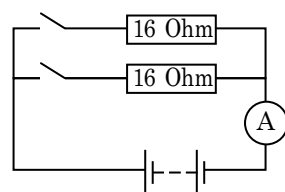


Fig. 1

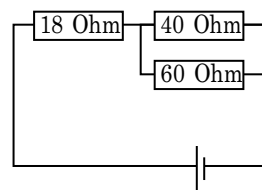


Fig. 2



Fig. 3



Firul de wolfram al becului de incandescență se subțiază treptat din cauza evaporării metalului; la urma urmei în locul cel mai subțire firul arde. Dar de ce becul cel mai des arde în momentul, când este aprins? Dacă voi nu puteți da acum răspuns la această întrebare, întoarceți-vă la ea după prelucrarea materialului din paragraf.

1 Cum se mișcă electronii în conductorul metalic

În anul 1900, după trei ani de la descoperirea electronului, fizicianul german *Paul Drude* (1863–1906) a propus *teoria electronică a conductibilității metalelor*, conform căreia electronii în metale se comportă asemănător cu moleculele gazului ideal. Astăzi această teorie are denumirea de **teoria electronică clasică**.

Conform teoriei electronice clasice structura metalului reprezintă în sine o rețea cristalină creată de ioni încărcăți pozitiv, care este situată în «gazul» de electroni liberi. Dacă se va crea câmp electric într-un conductor metalic, atunci pe mișcarea haotică a electronilor se va suprapune o derivă de electroni în direcția forței ce acționează asupra electronilor din partea câmpului electric. Această derivă a electronilor și reprezintă *curentul electric*.

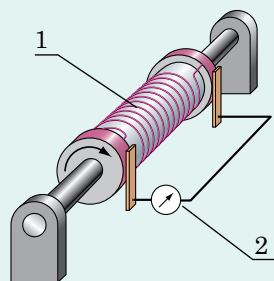
Curentul electric în metale reprezintă în sine mișcarea orientată a electronilor liberi.

Să ne imaginăm modelul mișcării electronului într-un metal, în care este creat un câmp electric. Conform teoriei clasice electronul un timp foarte scurt este accelerat de către câmpul electric, apoi ciocnindu-se cu ionul pozitiv își schimbă direcția mișcării sale, apoi din nou își mărește viteza în direcția acțiunii câmpului, din nou se ciocnește cu un ion ș.a.m.d. În timpul ciocnirilor electronul transmite ionului o parte din energia cinetică obținută în urma acțiunii câmpului. Anume aceste ciocniri «sunt responsabile» de rezistența metalului.

Să determinăm *viteza medie \bar{v} a mișcării orientate a electronilor*. În intervalul de timp t prin secțiunea transversală a conductorului cu aria S trec N electroni: $N = nS\bar{v}t$, unde n — con-

Experiența lui Stiuart — Tolman

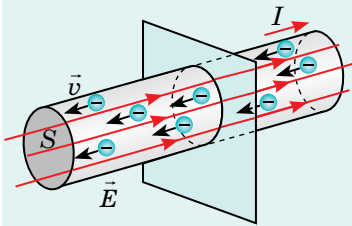
Dacă un conductor metalic de-l pus în rotație rapidă, apoi brusc de-l oprit, atunci particulele libere încărcate se vor mișca după inerție — în conductor va lua naștere curent electric de scurtă durată. După abaterăa acului galvanometrului (2) se poate afla semnul sarcinilor care creează acest curent, iar cunoscând rezistența conductorului, intensitatea curentului și viteza liniară de rotație, de aflat care anume particule creează curentul.



O astfel de experiență au efectuat-o în anul 1916 fizicienii americani *Richard Tolman* (1881–1948) și *Thomas Stewart* (1890–1958). Ei au demonstrat pe cale experimentală, că curentul electric în metale reprezintă în sine mișcarea orientată a electronilor liberi

Cât de repede se mișcă electronii

Viteza medie a mișcării haotice a electronilor liberi este enormă — 300 km/s. Totodată viteza medie a mișcării lor orientate este extraordinar de mică — câțiva zeci de milimetri pe secundă. De ce totuși numai noi apăsăm întrerupătorul becului, el deodată se aprinde? Chestia constă în aceea, că câmpul electric se propagă în conductor cu viteza de 300 000 km/s. Datorită acțiunii câmpului electric electronii liberi, situați în orice punct al conductorului se implică în mișcarea orientată aproape instantaneu.



❓ Apreciați peste ce interval de timp după punerea în funcțiunea a pleier-ului ați fi auzit muzica în căștile telefonice, dacă câmpul electric s-ar propaga cu viteza mișcării orientate a electronilor.

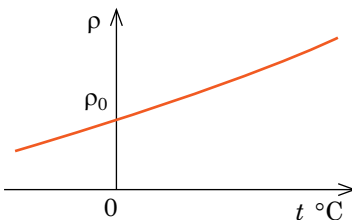


Fig. 5.1. Graficul dependenței rezistenței specifice a metalului de temperatură (porțiunea rectilinie). Cu mărirea temperaturii rezistența specifică a metalului crește

centrația electronilor liberi în conductor. Totodată se deplasează sarcina $q = N|e|$. După definiție: $I = \frac{q}{t}$. Deci, avem:

$$I = n|e|\bar{v}S \Rightarrow \bar{v} = \frac{I}{n|e|S}$$

❓ Determinați viteza medie a mișcării orientate a electronilor într-un conductor de cupru cu secțiunea de 1 mm² la o intensitate a curentului de 1 A, dacă concentrația electronilor liberi în cupru este $n = 8,4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$.

2 Cum depinde rezistența metalelor de temperatură

Rezistența conductorului metalic depinde nu numai de parametrii geometrici și substanța, din care este fabricat, dar și de temperatură (ultima se demonstrează în teoria cuantică a conductibilității electrice a metalelor). Experimentele demonstrează: dacă temperatura t nu este prea joasă și nici prea înaltă ($t < t_{\text{top}}$), atunci rezistența specifică a metalului și rezistența conductorului metalic depind de temperatură practic liniar (fig. 5.1):

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad R = R_0(1 + \alpha t),$$

unde ρ_0 , R_0 — rezistența specifică și rezistența conductorului respectiv la temperatura de 0 °C; ρ , R — rezistența specifică și rezistența conductorului respectiv la temperatura t ; α — *coeficientul termic al rezistenței electrice*.

Coeficientul termic al rezistenței electrice — aceasta-i mărirea fizică care caracterizează dependența rezistenței specifice a substanței de temperatură.

Unitatea de măsură a coeficientului termic în SI — **inversul kelvin-ului** (kelvin la puterea minus unu): $[\alpha] = \text{K}^{-1} (\text{K}^{-1})$.

Pentru toate metalele $\alpha > 0$. De exemplu, coeficientul termic al rezistenței aluminului constituie 0,0038 K⁻¹ (vezi Anexa 1).

Dacă temperatura metalului scade, apropiindu-se de zero absolut (0 K, -273 °C), sau crește, apropiindu-se de temperatura de topire, atunci dependența $\rho(t)$ deja nu va mai fi liniară (fig. 5.2).

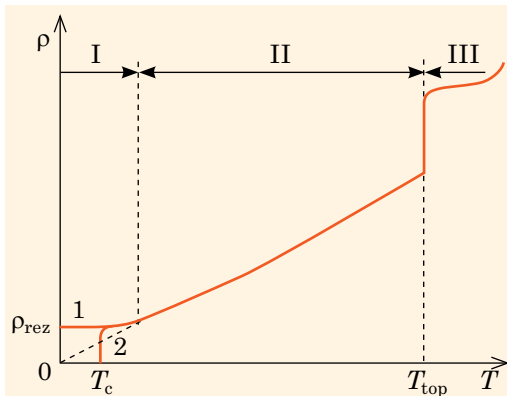


Fig. 5.2. Graficul aproximativ al variației rezistenței specifice a metalului într-un diapazon larg de temperaturi

3 Facem cunoștință cu fenomenul supraconductibilității

În anul 1911 savantul olandez Heike Kamerling Onnes (1853–1926), cercetând cum se comportă mercurul la temperaturi apropiate de zero absolut, a observat un fenomen remarcabil: în cazul coborârii temperaturii mercurului până la 4,1 K rezistența lui specifică brusc scădea până la zero.

Fenomene analoge s-au observat la cositor, plumb și un șir de alte metale (fig. 5.3). Acest fenomen a fost numit **supraconductibilitate**. În prezent sunt cunoscute multe substanțe și materiale care la temperaturi respective trec în starea supraconductibilității.

Dacă într-un conductor închis aflat în stare de supraconductibilitate, excităm (creăm) un curent, atunci curentul va exista în conductor fără susținerea sursei de curent un timp oricât de îndelungat. Aceasta și alte proprietăți ale supraconductoarelor deschid posibilități largi la aplicarea lor în tehnică și industrie. Numai crearea liniilor de transportare a energiei electrice din supraconductoare ar permite de economisit 10–15% de energie electrică.

Dificultățile în aplicarea supraconductoarelor sunt legate cu necesitatea răcirii materialelor până la

- **Porțiunea I.** Temperatura se apropie de 0 K: la unele metale rezistența specifică încetează să depindă de temperatură și devine constantă (ramura 1); ρ_{rez} — rezistență specifică reziduală;
- rezistența specifică a unor metale scade brusc până la zero (ramura 2) — starea de supraconductibilitate; T_c — temperatura critică (temperatura de trecere în starea de supraconductibilitate).
- **Porțiunea II.** Porțiunea liniară: rezistența specifică depinde aproape liniar de temperatură.
- **Porțiunea III.** La atingerea temperaturii de topire rezistența specifică crește brusc.

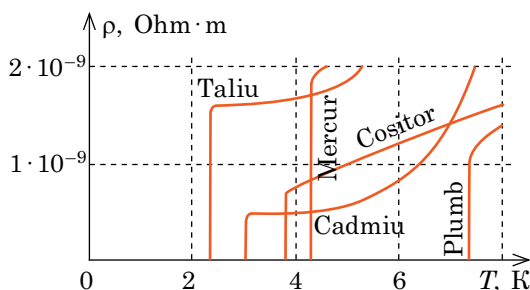


Fig. 5.3. Graficele variației rezistenței specifice ale unor metale la temperaturi apropiate de zero absolut

«Sicriul lui Mahomed»

Rezistența nulă — aceasta nu este unica proprietate a materialelor în stare de supraconductibilitate. În anul 1933 fizicienii germani *Walther Meisner* (1881–1974) și *Robert Ochsenfeld* (1901–1993) au descoperit, că în timpul trecerii în starea supraconductoare câmpul magnetic este pe deplin înlăturat din conductor (efectul Meisner).

Dacă magnetul se va situa deasupra conductorului, și răcind conductorul de-l trecut în stare de supraconductibilitate, magnetul va levita deasupra supraconductorului. Experiența, care demonstrează efectul Meisner a fost numită «Sicriul lui Mahomed» — se consideră, că sicriul cu trupul prorocului Mahomed levita în aer fără nici o susținere.





Fig. 5.4. Nicolai Nicolaevici Bogoliubov (1909–1992) — renumit fizician-teoretician și matematician sovietic, fondatorul școlilor științifice în domeniul mecanicii neliniare, fizicii statistice și teoriei cuantice a câmpului. În anii 1934–1959 a lucrat la Universitatea din Kiev, în anii 1965–1973 director al Institutului de fizică teoretică al Academiei de Științe a Ucrainei (astăzi acest institut îi poartă numele)

temperaturi joase — aceasta costă desul de mult. Până în prezent s-au descoperit materiale, care trec în stare de supraconductibilitate la temperaturi apropiate de 100 K (–173 °C) și mai joase. Ultimul «record» al supraconductibilității la temperatură înaltă a fost realizat în anul 2015: la o presiune enormă (1 mln. atm.) acidul sulfuric (H_2S) a fost trecut în stare de supraconductibilitate la temperatura de –70 °C.

Supraconductibilitatea nu poate fi explicată din punctul de vedere al teoriei clasice a conductibilității electrice a metalelor. În a. 1957 un grup de savanți americani: *John Bardin* (1908–1991), *Leon Cooper* (născ. 1930), *John Schrieffer* (născ. 1931) — și independent de ei savantul sovietic *Nicolai Nicolaevici Bogoliubov* (fig. 5.4) au creat *teoria cuantică a supraconductibilității*.

4 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Un circuit electric este compus dintr-o sursă de curent, un miliampermetru cu rezistența de 20 Ohm și un reostat, înfășurarea căruia este confecționată din sârmă de oțel. La temperatura de 0 °C miliampermetrul indică 30 mA, iar rezistența reostatului — 200 Ohm.

Care va fi indicația miliampermetrului, dacă înfășurarea reostatului se va încălzi până la 50 °C? Rezistența internă a sursei și rezistența conductoarelor de conexiune se pot neglija.

Analiza problemei fizice. Înfășurarea reostatului se încălzește și rezistența ei crește, ceea ce provoacă mărirea rezistenței totale a circuitului. Conform legii lui Ohm intensitatea curentului în circuit scade. Reostatul și miliampermetrul sunt uniți în serie, rezistența internă a sursei este egală cu zero, de aceea rezistența totală a circuitului constituie $R + R_A$, unde R — rezistența înfășurării reostatului la $t = 50$ °C. Coeficientul termic al rezistenței oțelului îl vom afla din tabel (vezi Anexa 2).

Se dă:

$$R_A = 20 \text{ Ohm}$$

$$t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$I_0 = 30 \text{ mA} = 0,03 \text{ A}$$

$$R_0 = 200 \text{ Ohm}$$

$$t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 0,006 \text{ K}^{-1}$$

I — ?

Căutarea modelului matematic, rezolvarea. Vom scrie legea lui Ohm pentru un circuit închis pentru două stări termice ale înfășurării reostatului.

Până la încălzire:

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R_0 + R_A} \Rightarrow \mathcal{E} = I_0(R_0 + R_A).$$

După încălzire:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + R_A}, \text{ unde } R = R_0(1 + \alpha t).$$

$$\text{După substituirea lui } \mathcal{E} \text{ și } R \text{ obținem: } I = \frac{I_0(R_0 + R_A)}{R_0(1 + \alpha t) + R_A}.$$

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[I] = \frac{\text{A} \cdot \text{Ohm}}{\text{Ohm}} = \text{A}; \quad I = \frac{0,03 \cdot (200 + 20)}{200 \cdot (1 + 0,006 \cdot 50) + 20} \approx 24 \cdot 10^{-3} \text{ (A)}.$$

Analiza rezultatelor. Intensitatea curentului a scăzut — aceasta este un rezultat real. *Răspuns:* $I \approx 24 \text{ mA}$.



Facem totalurile

- Curentul electric în metale reprezintă în sine mișcarea orientată a electronilor liberi.
 - În lipsa câmpului electric electronii liberi în metale se mișcă haotic. Dacă într-un conductor metalic există câmp electric, atunci electronii liberi, fără a înceta mișcarea sa haotică, încep să se miște orientat.
 - Rezistența conductorului metalic depinde practic liniar de temperatură: $R = R_0(1 + \alpha t)$, unde R_0 , R — rezistențele conductorului respectiv la temperatura de $0\text{ }^\circ\text{C}$ și la temperatura t dată; α — coeficientul termic al rezistenței.
 - În cazul micșorării temperaturii unor metale până la temperaturi apropiate de zero absolut, rezistența lor prin salt scade până la zero. Acest fenomen se numește supraconductibilitate.



Întrebări pentru control

1. Ce reprezintă în sine curentul electric în metale?
2. Descrieți esența experienței Stewart — Tolman pentru a clarifica natura curentului electric în metale.
3. Cum se mișcă electronii într-un conductor metalic din punct de vedere al fizicii clasice, dacă în conductor este creat un câmp electric?
4. În ce constă cauza rezistenței conductoarelor?
5. Depinde oare rezistența metalelor de temperatură? Dacă depinde, atunci cum?
6. În ce constă fenomenul supraconductibilității?



Exercițiul nr. 5

1. În fig. 1 este reprezentată o experiență. Cu ce scop se efectuează această experiență? Numiți echipamentul aplicat. Cum credeți voi, cum și de ce se vor schimba indicațiile aparatului de măsură în timpul încălzirii?
2. Se degajă oare căldură în timpul trecerii curentului printr-un conductor, care se află în stare de supraconductibilitate?
3. În fig. 2 este reprezentat graficul dependenței rezistenței conductorului metalic de temperatură. Care este coeficientul termic de rezistență al acestui metal? Care este intensitatea curentului în conductor la temperatura de $150\text{ }^\circ\text{C}$, dacă tensiunea pe clemele conductorului este de 5 V ?
4. Rezistența bobinei din nichelină a cuptorului electric la temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C}$ este egală cu 60 Ohm . Care va fi rezistența bobinei, dacă temperatura va atinge valoarea de $700\text{ }^\circ\text{C}$?
5. Ce lungime are filamentul de wolfram al unui bec de incandescență calculat pentru tensiunea de 220 V și puterea de 220 W ? Temperatura de incandescență a filamentului constituie 2700 K , iar diametrul lui — $0,03\text{ mm}$.
6. Pe dependența rezistenței metalelor de temperatură se bazează acțiunea *termometrelor cu rezistență* — *transformatoarelor termice* (fig. 3). Aflați cum sunt confecționate aceste termometre, unde ele sunt aplicate, ce metale se folosesc pentru confecționarea corpului termic al lor.

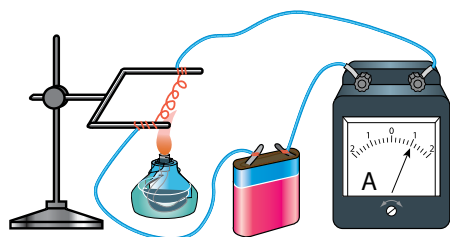


Fig. 1

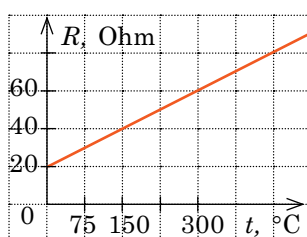


Fig. 2

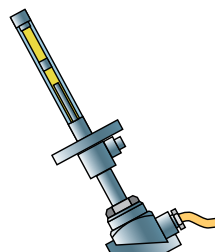


Fig. 3

§ 6. CURENTUL ELECTRIC ÎN ELECTROLIȚI. ELECTROLIZA

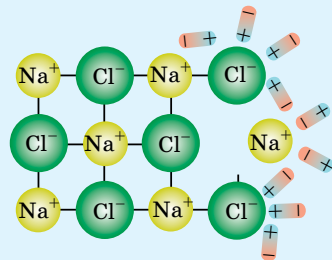


În realitate bijuteria din figură nu este din aur — ea este confecționată din argint, iar stratul subțire de aur (6 micrometri) este depus pe bijuterie prin metoda electrochimică — metoda *electrolizei*. Discul automobilului este confecționat dintr-un aliaj de aluminiu, iar luciu îi dă stratul de crom. Și fabricarea aluminiului, și depunerea uniformă a cromului pe suprafața piesei — aceasta de asemenea este electroliză. Despre electroliză și utilizarea ei vom aminti în acest paragraf.

Să ne amintim

Disociația electrolică (de la latin. *dissociatio* — despărțire) — aceasta-i *descompunerea substanțelor în ioni în urma acțiunii moleculelor polarizate ale solventului*.

Astfel, când cristalul de sare de bucătărie nimereste în apă, moleculele polare de apă înconjoară ionii de Sodiu și ionii de Clor și-i despart de la cristal.



Ca urmare în soluție apar particule libere încărcate — ioni pozitivi și negativi.

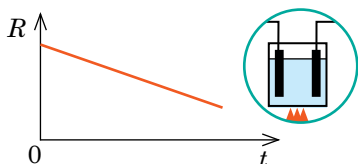
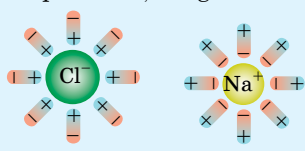


Fig. 6.1. Graficul aproximativ al dependenței rezistenței R a electrolitului de temperatura t

1 Ce reprezintă curentul electric în electroliți

Electroliții — substanțele solide sau lichide care au conductibilitate ionică.

Mecanismul conductibilității ionice în corpurile solide este destul de complicat, de aceea vom examina conductibilitatea ionică numai în electroliții lichizi.

Sărurile, acizii sau bazele în timpul dizolvării pot să se descompună în ioni separați. Acest fenomen se numește *disociație electrolică* (vezi textul din stânga), iar soluțiile substanțelor respective — *electroliți*.

Descompunerea substanțelor în ioni poate fi cauzată nu numai de solvent. Unele săruri și oxizii metalelor se descompun în ioni în urma măririi considerabile a temperaturii. Topiturile acestor substanțe de asemenea se numesc electroliți.

În lipsa câmpului electric ionii se află în mișcare termică haotică. Dar dacă în soluție sau în topitură se vor introduce electrozii legați la poli diferiți ai sursei de curent, atunci la fel ca și electronii liberi în metale ionii se vor deplasa într-o anumită direcție: ionii pozitivi (cationii) — spre electrodul negativ (catod); ionii negativi (anionii) — spre electrodul pozitiv (anod). Adică în soluție va apărea *curent electric*.

Curentul electric în soluții și topituri de electroliți reprezintă mișcarea orientată a ionilor liberi.

Vom menționa, că odată cu măriria temperaturii cantitatea ionilor în electroliți crește considerabil, de aceea necâtând la măriria numărului de ciocniri efective rezistența electrolitului scade (fig. 6.1).

2 Ce este electroliza

În timpul trecerii curentului electric prin electrolit are loc transportarea componentelor chimice ale electrolitului și acestea se degajă pe electrozi — se depun sub formă de un strat solid sau se degajă în stare gazoasă.

Astfel, dacă prin soluția apoasă a clorurii de cupru (II) va trece curentul, atunci suprafața catodului se va acoperi cu un strat subțire de cupru, iar lângă anod se va degaja clorul. Aceasta se petrece de aceea, că sub acțiunea câmpului electric ionii liberi pozitivi de Cupru (Cu^{2+}) se direcționează spre catod, iar ionii liberi negativi de Clor (Cl^-) — spre anod (fig. 6.2).

Ajungând la catod, cationii de Cupru «captează» de pe suprafața lui electronii, care-i «lipsesc», — are loc *reacția chimică de reducere*: cationii de Cupru se transformă în atomi neutri și pe suprafața catodului se depune cuprul. În același timp anionii de Clor, ajungând la suprafața anodului «îi cedează» lui «excesul» de electroni — are loc *reacția chimică de oxidare*: anionii de Clor se transformă în atomi neutri și pe anod se degajă clorul.

Procesul depunerii substanțelor pe electrozi ce este legat de reacțiile de oxido-reducere, care au loc pe electrozi în timpul trecerii curentului, se numește **electroliză**.

3 Legile lui Faraday pentru electroliză

Pentru prima dată fenomenul electrolizei l-a studiat detaliat fizicianul englez *Michael Faraday* (1791–1867). Măsurând exact masa substanțelor, care s-au depus pe electrozi în timpul electrolizei savantul a formulat două *legi ale electrolizei*.

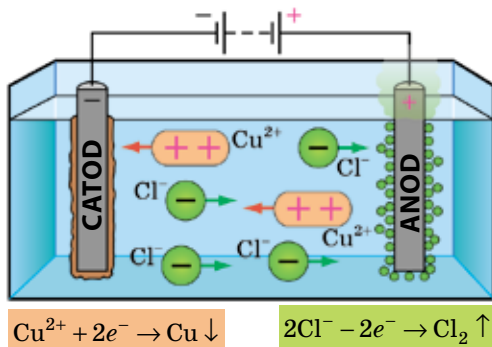


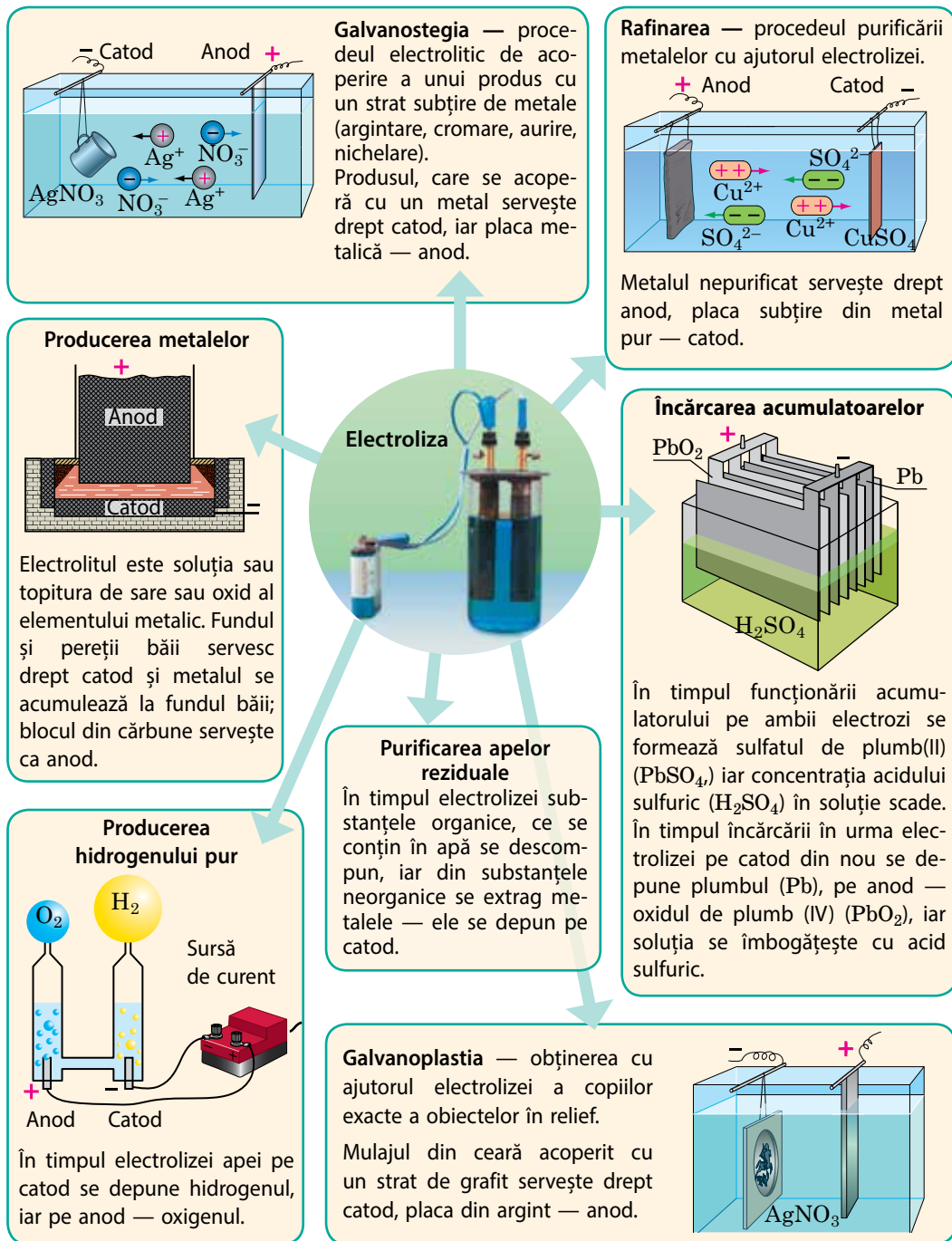
Fig. 6.2. Electroliza soluției CuCl_2 . În baia de electrolit sunt scufundați catodul și anodul. După închiderea circuitului ionii pozitivi (cationii) se mișcă spre catod, ionii negativi (anionii) — spre anod

Legile lui Faraday pentru electroliză

Legea întâi a electrolizei	Legea a doua a electrolizei
<p>Masa substanței, care se depune pe electrod în timpul electrolizei este direct proporțională cu intensitatea curentului I și timpul t a trecerii lui prin electrolit:</p> $m = kIt, \text{ sau } m = kq,$ <p>unde q — sarcina, care a trecut prin electrolit; k — coeficientul de proporționalitate, care se numește echivalentul electrochimic:</p> $[k] = 1 \frac{\text{kg}}{\text{C}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{C}} \right).$ <p>Echivalenții electrochimici se determină pe cale experimentală și se introduc în tabele (vezi tab. din Anexa 1).</p>	<p>Echivalentul electrochimic k este direct proporțional cu raportul dintre masa molară M a elementului și valența n a acestui element în soluția chimică dată:</p> $k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n},$ <p>unde F — constanta lui Faraday, care se determină ca produsul dintre modulul sarcinii electronului și constanta lui Avogadro:</p> $F = e N_A = 9,65 \cdot 10^4 \text{ C/mol.}$ <p>Adică constanta lui Faraday este egală cu modulul sarcinii unui mol de electroni.</p>

4 Unde se aplică electroliza

Electroliza se aplică pe larg în tehnica contemporană, în special pentru acoperirea suprafețelor, încărcarea acumulatorilor cu acizi și baze, obținerea hidrogenului pur (electroliza apei), a multor metale etc.



5 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. În timpul rafinării cuprului drept anod servește o placă din cupru nerafinat, care are 12% de impurități. Câtă energie a fost consumată pentru rafinarea a 2 kg de astfel de cupru, dacă procesul se petrece la tensiunea de 0,5 V?

Analiza problemei fizice. Consumul de energie este egal cu lucrul curentului: $\Delta W = A = qU$, unde q — sarcina, care a trecut prin electrolit în timpul rafinării. După legea întâi a lui Faraday aflăm sarcina q și folosind valoarea tabelară a echivalentului electrochimic al cuprului (Cu^{2+}) (vezi Anexa 1), determinăm mărimea căutată.

Se dă:

$$m_{\text{imp}} = 0,12 \text{ m}$$

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$U = 0,5 \text{ V}$$

$$k = 0,33 \cdot 10^{-6} \text{ kg/C}$$

$$\Delta W \text{ — ?}$$

Căutarea modelului matematic, rezolvarea.

$$\text{Conform primei legi a lui Faraday: } m_{\text{Cu}} = kq \Rightarrow q = \frac{m_{\text{Cu}}}{k}.$$

$$\text{Deci, } \Delta W = A = qU = \frac{m_{\text{Cu}}}{k} U.$$

Din condiția problemei masa cuprului pur este egală cu:
 $m_{\text{Cu}} = m - m_{\text{imp}}.$

$$\text{Definitiv avem: } \Delta W = \frac{(m - m_{\text{imp}})U}{k}.$$

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[\Delta W] = \frac{\text{kg} \cdot \text{V}}{\text{kg/c}} = \frac{\text{J} \cdot \text{C}}{\text{C}} = \text{J}; \quad \Delta W = \frac{(2 - 0,12 \cdot 2) \cdot 0,5}{0,33 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,88}{0,33 \cdot 10^{-6}} \approx 2,7 \cdot 10^6 \text{ (J)}.$$

Răspuns: $\Delta W \approx 2,7 \text{ MJ}$.



Facem totalurile

• Curentul electric în electroliți — mișcarea orientată a ionilor liberi pozitivi și negativi. Procesul depunerii substanțelor pe electrozi ce este legat de reacțiile de oxido-reducere, care au loc pe electrozi în timpul trecerii curentului, se numește electroliză.

• Legea întâi a electrolizei: masa substanței, care se depune pe electrod este direct proporțională cu intensitatea curentului și timpul trecerii lui prin electrolit: $m = kIt$, unde k — echivalentul electrochimic.

• Legea a doua a electrolizei: echivalentul electrochimic k este direct proporțional cu raportul dintre masa molară a elementului și valența n a acestui element în soluția chimică dată: $k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}$, unde $F = N_A |e|$ — constanta lui Faraday.



Întrebări pentru control

1. În ce constă fenomenul disociației electrolitice? Dați exemple.
2. Ce este electrolitul?
3. Ce prezintă curentul electric în soluții și topituri de electroliți?
4. Descrieți procesul electrolizei.
5. Formulați legile lui Faraday.
6. Dați exemple de aplicații ale electrolizei.



Exercițiul nr. 6

1. Printr-o soluție de sulfat de cupru (CuSO_4) destul de mult timp a trecut curent electric. Cum se schimbă masa cuprului care se depune pe catod într-o unitate de timp, dacă tensiunea pe electrozi este constantă?

2. Completați tabelul.*

Substanța, care s-a depus pe electrod			Timpul electroli-zei	Intensitatea curentului în timpul electrolizei
denumirea	masa	echivalentul electrochimic		
Cupru	6,6 g			0,4 A
		0,30 mg/C	1 oră	0,6 A
Aluminiu	1,35 g		50 min	5 A

3. Două băi electrolitice identice sunt umplute cu soluție de azotat de argint(I). Concentrația soluției în baia 1 este mai mare decât în baia 2. Determinați pe catodul cărei băi se va depune mai mult argint, dacă băile sunt legate: a) în serie; b) în paralel.

4. În fig. 1 este dată reprezentarea schematică a circuitului electric, în componența căruia intră o baie cu soluția apoasă a sulfatului de zinc. Tensiunea pe electrozi este de 2 V; densitatea zincului — 7100 kg/m^3 . Determinați:

- care electrod este catod, care — anod;
- pe care electrod se depune zincul;
- în cât timp pe electrod se va depune un strat de zinc cu grosimea de $6,8 \mu\text{m}$ și ce energie se va consuma pentru aceasta.

5. Aflați mai detaliat ce este electrolizorul (fig. 2). Prin ce se deosebește electrolizorul de baia electrolitică?

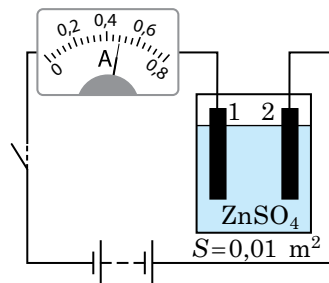


Fig. 1



Fig. 2

§ 7. CURENTUL ELECTRIC ÎN GAZE



99 % din Univers se află în stare de plasmă: în această stare este substanța în stele și nebuloasele galactice, cu plasmă este umplut spațiul interstelar. Pe Pământ noi la fel deseori avem de afaceri cu plasma: gazul se află în stare de plasmă și în canalele fulgerului, și în limbile flăcărilor, și în interiorul tuburilor pentru reclamă; procesele în plasma extraterestră cauzează furtunile magnetice, aurorele boreale. **Plasma** — *gazul parțial sau total ionizat, în care concentrațiile sarcinilor pozitive și negative sunt aproape la fel.*

Despre aceea cum trebuie de ionizat gazul (de creat plasma) și ce procese au loc, dacă gazul ionizat se introduce în câmpul electric vom aminti în acest paragraf.

1

În ce condiții gazele devin conductoare

Spre deosebire de metale și electroliți gazele se compun din atomi și molecule neutre și în condiții obișnuite aproape că nu conțin purtători liberi

* Bineînțeles, că în această problemă și cele analogice, desenele etc. trebuie de le trecut în caiet.

de curent electric, adică sunt dielectrici. Dar iată dacă s-ar putea forța electronul cumva să părăsească atomul, atunci în gaz se vor forma *ioni pozitivi și electroni liberi*; unii electroni, la rândul său, se pot alipi la moleculele și atomii neutri — se vor forma *ioni negativi* (fig. 7.1).

Procesul formării în gaz a ionilor pozitivi și negativi și a electronilor liberi proveniți din molecule și atomi neutri ai gazului se numește **ionizare**.

Pentru a face ca electronul să părăsească atomul trebuie de-i comunicat o anumită energie minimă — *energia ionizării* (W_i), care depinde de natura chimică a gazului. În dependență de aceea, de unde se ia această energie se deosebesc câteva tipuri de ionizare (vezi, de exemplu, fig. 7.2).

Dacă gazul ionizat va fi amplasat într-un câmp electric, atunci ionii pozitivi se vor mișca în direcția liniilor de forță ale câmpului, iar ionii negativi — în direcție opusă (fig. 7.3). În gaz va apărea *curentul electric*.

Curentul electric în gaze — descărcarea în gaze — prezintă în sine mișcarea orientată a electronilor liberi, ionilor pozitivi și negativi.

2 Descărcarea autonomă și neautonomă în gaze

Experiențele demonstrează: dacă se va înlătura cauza, care a provocat ionizarea gazului (se va înlătura arzătorul, deconecta sursa de radiație), atunci de obicei descărcarea în gaze încetează. Aceasta se explică prin câteva pricini.

1. Electronul și ionul pozitiv se pot îmbina, transformându-se într-o moleculă (atom) neutră. Acest proces se numește *recombinare*.

2. Electronii liberi sunt absorbiți de anod.

3. Ionii lângă electrozi se transformă în particule neutre: ionii negativi «îi cedează» electronii «de prisos» anodului, iar ionii pozitivi «iau» de la catod electronii care-i «lipsesc». După aceasta particulele (moleculele și atomii) neutre revin în gaz.

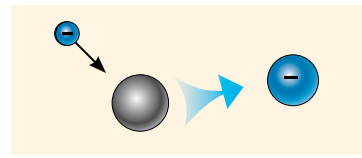
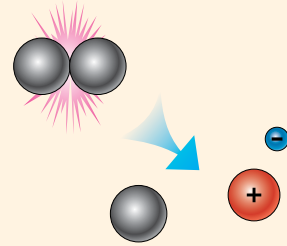


Fig. 7.1. Schema formării ionilor negativi în gaze

Ionizarea termică: energia necesară se degajă în timpul ciocnirilor neelastice ale moleculelor, care la temperatură înaltă au o viteză mare.



Ionizarea prin radiație: energia necesară este furnizată în atom de către radiația electromagnetică de frecvență înaltă.

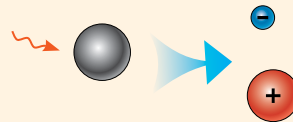


Fig. 7.2. Unele tipuri de ionizare a gazelor

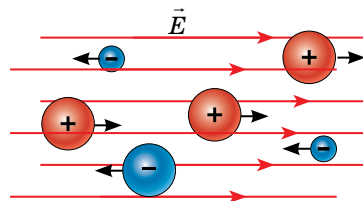


Fig. 7.3. În prezența câmpului electric în gazul ionizat apare mișcarea orientată a particulelor încărcate libere — curentul electric

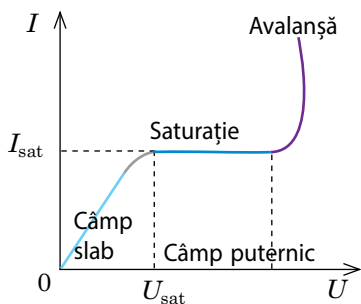


Fig. 7.4. Caracteristica volt-amperică (CVA) a descărcării în gaze

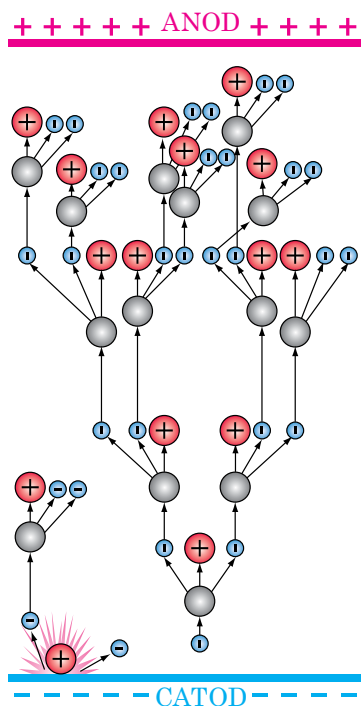


Fig. 7.5. Schema dezvoltării avalanșei electronice. Electronul liber, accelerat de câmpul electric, se ciocnește cu atomul (molecula) și mai «smulge» un electron. Accelerându-se, doi electroni eliberează încă doi ș.a.m.d.

Descărcarea în gaze, care are loc numai în prezența ionizatorului exterior se numește **descărcare neautonomă în gaze**.

S-ar părea, că mărirea tensiunii dintre plăci neapărat va duce la mărirea intensității curentului, chiar dacă intensitatea ionizatorului nu se schimbă. Dar aceasta nu este întotdeauna așa. Graficul dependenței intensității curentului de descărcare de tensiunea dintre electrozi dacă caracteristicile ionizatorului sunt constante este dat în [fig. 7.4](#). Pe grafic pot fi evidențiate câteva porțiuni caracteristice.

Porțiunea 1 (pe grafic este evidențiată cu culoare albastră). Dependența intensității curentului de tensiune se supune legii lui Ohm.

Porțiunea 2 (este evidențiată cu culoare albastră închisă). Tensiunea crește, iar intensitatea curentului rămâne neschimbată. Chestia constă în aceea, că într-un câmp electric puternic toate particulele încărcate, pe care le creează ionizatorul ajung la electrozi. *Intensitatea maximă a curentului, care este posibilă în urma acțiunii ionizatorului dat se numește curent de saturație.*

Porțiunea 3 (este evidențiată cu culoare violetă). Intensitatea curentului crește brusc la o mărire neînsemnată a tensiunii. Din cursul de fizică pentru clasa a 8-a voi știți, că aceasta are loc datorită **ionizării gazului prin șoc electronic**, în urma cărui fapt numărul particulelor libere încărcate crește prin avalanșă ([fig. 7.5](#)).

Electronii, ce s-au format în urma ionizării prin șoc se mișcă spre anod și la urma urmei sunt absorbiți de el. Însă descărcarea în gaz poate și să nu înceteze, chiar și la înlăturarea ionizatorului. Una dintre sursele de electroni noi este suprafața catodului: ionii pozitivi «bombardează» catodul și smulg din el electroni noi — are loc *emisia (radiația) electronilor* de pe suprafața catodului.

Descărcarea în gaze, care are loc fără acțiunea ionizatorului exterior se numește **descărcare autonomă în gaze**.

În dependență de presiune și temperatura gazului, configurarea electrozilor și tensiunea dintre ei se deosebesc patru tipuri de descărcări autonome în gaze: *prin scântei, luminiscentă, prin arc, prin coroană*.

Tipurile de descărcări autonome în gaze

Descărcarea în gaze prin scânteii



Apare la presiune atmosferică și tensiune înaltă dintre electrozi. Are forma unui fascicul de fâșii luminoase în zigzag ce se ramifică, durează numai câteva zecimi de microsecunde și de obicei este însoțită de unele efecte sonore (trosnete, pocnete, tunet etc.).

Se aplică în bujiile motoarelor cu benzină, pentru prelucrarea metalelor deosebit de rezistente, pentru prevenirea supratensiunii în liniile electrice (descărcătoarele de scânteie).

Exemplu de descărcare măreață prin scânteii în natură este fulgerul.

Descărcarea în gaze luminiscentă



Apare la tensiune mică dintre electrozi și presiune joasă (zecimi și sutimi de milimetru a coloanei de mercur): la presiune dată distanța dintre molecule este suficientă, pentru aceea ca chiar și într-un câmp electric slab electronii să fie accelerați până la așa o viteză, încât să obțină energie suficientă pentru ionizarea prin șoc.

Se aplică în lămpile cu lumina zilei (tuburile luminiscente), tuburile colorate de descărcare în gaze (culoarea tubului se determină de natura gazului). Cea mai importantă ramură de aplicare — în generatoarele cuantice de lumină (laserii cu gaz).

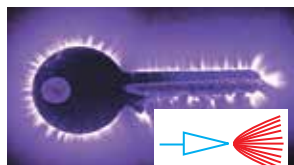
Descărcarea în gaze prin arc (arcul electric)



Apare la temperatură înaltă (peste 4000 °C) și aproape la orice presiune. Reprezintă o flacără luminoasă sub formă de arc. La așa o temperatură de înaltă de pe suprafața catodului neîncetat «se evaporă» electronii, iar în fasciculul de gaz incandescent are loc ionizarea termică. Temperatura înaltă a catodului și anodului se menține prin bombardarea electrozilor cu ioni pozitivi și negativi, accelerați de către câmpul electric.

Se aplică în metalurgie (în cuptoarele electrice, sudarea metalelor cu căldura arcului electric), ca sursă puternică de lumină în proiectoare etc.

Descărcarea în gaze prin coroană



Apare la presiune de ordinul celei atmosferice într-un câmp electric neuniform intens ($E > 500$ kV/m), Astfel de câmpuri se formează în apropierea electrozilor cu o curbură mare a suprafeței lor (vârf, sârmă subțire etc.). Reprezintă o iluminare slabă violetă în formă de coroană (fascicule, periute).

Se aplică pentru purificarea gazelor (filtrele electrice), în contoarele particulelor elementare (contorul Geiger-Muller); pe acțiunea acestei descărcări se bazează acțiunea paratrăsnetului.

În natură de obicei se observă înainte sau în timpul furtunii pe vârfurile ascuțite ale obiectelor înalte (turnuri, catarge, vârfuri ale stâncilor etc.); mai are o denumire — «focurile Sfântului Elmo».

Atrageți atenția! Electronul, ciocnindu-se cu atomul nu întotdeauna smulge din el un electron — de asemenea el poate să transmită învelișului electronic al atomului o parte din energia sa. Atomul se excită, adică învelișul lui electronic trece în starea cu un nivel mai înalt de energie. Însă în stare excitată atomul se află un timp foarte scurt (câteva nanosecunde) — aproape momentan el se întoarce în starea fundamentală, radiind surplusul de energie sub formă de o anumită «porție» (cuantă) de lumină. Deoarece în timpul descărcării în gaze se excită o cantitate mare de atomi, *descărcarea în gaze de obicei este însoțită de iluminare.*

3 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Cu ce viteză minimă trebuie să se miște electronul, pentru a ioniza atomul de Hidrogen? Energia de ionizare a Hidrogenului este de 13,6 eV (*electron-volt* — unitate de măsură a energiei în afara sistemului: 1 eV = $1,6 \cdot 10^{-19}$ J).

Analiza problemei fizice. Pentru a ioniza atomul de Hidrogen, electronul trebuie să posede o energie nu mai mică decât energia de ionizare a acestui atom. Vom afla viteza minimă a electronului, folosind egalitatea $E_k = W_i$.

Se dă:

$$W_i = 13,6 \text{ eV} = 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 21,8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

v — ?

Căutarea modelului matematic, rezolvarea.

Din definiția energiei cinetice: $E_k = \frac{m_e v^2}{2}$, unde m_e — masa electronului. Deoarece $E_k = W_i$, atunci $\frac{m_e v^2}{2} = W_i \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2W_i}{m_e}}$.

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[v] = \sqrt{\frac{\text{J}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{kg}}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot 21,8 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 2,2 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right).$$

Răspuns: $v \approx 2,2 \cdot 10^6$ m/s.



Facem totalurile

- Procesul formării ionilor pozitivi și negativi și a electronilor liberi din atomi (molecule) neutri ai gazului se numește ionizare.
- Curentul electric în gaze (descărcarea în gaze) — mișcarea orientată a electronilor liberi, ionilor pozitivi și negativi, care se formează în gaz în urma ionizării.
- Descărcarea în gaze, care are loc numai sub acțiunea ionizatorului exterior se numește descărcare neautonomă în gaze; descărcarea, care are loc fără acțiunea ionizatorului exterior se numește descărcare autonomă în gaze.
- În dependență de presiunea și temperatura gazului, metoda ionizării lui, tensiunea și caracterul de iluminare se deosebesc patru tipuri de descărcări autonome în gaze: prin scânteii, prin coroană, prin arc, luminiscentă.

Întrebări pentru control



1. Ce este plasma? 2. De ce în condiții obișnuite gazul nu conduce curentul electric? 3. Ce este ionizarea? Ce tipuri de ionizare există? 4. Care descărcare în gaz se numește autonomă? neautonomă? 5. Descrieți mecanismul ionizării prin șoc? 6. Descrieți tipurile principale de descărcări autonome în gaze: în ce condiții ele au loc; ce formă au; unde ele sunt aplicate.



Exercițiul nr. 7

1. Ce tip de descărcare în gaz descria filozoful și poetul roman *Lucius Annaeus Seneca* (anii 4–65 î.e.n.) spunând, că «înainte de furtună stelele parcă coboară din cer și se așază pe catargele navelor»?
2. La 5 noiembrie anul 1953 la Kiev a fost deschisă circulația pe podul lui Paton — primul pod din lume sudat complet (numit în cinstea renumitului savant sovietic ucrainean Evghenii Oscarovici Paton (1870–1953) sub conducerea căruia și a fost construit acest pod). Utilizarea cărei tehnologii de descărcare în gaz a studiat și aplicat E. O. Paton.
3. Cu ce viteză minimă trebuie să se miște electronul, pentru a ioniza atomul de Nitrogen? Energia de ionizare a atomului de Nitrogen — 14,5 eV.
4. Care trebuie să fie temperatura hidrogenului atomic, pentru ca energia cinetică a mișcării ascendente a atomilor lui să fie suficientă pentru ionizarea pe calea ciocnirilor? Energia de ionizare a atomului de Hidrogen — 13,6 eV.
5. Creând grupuri mici, pregătiți scurte prezentări sau comunicări despre utilizarea și manifestarea descărcărilor autonome în gaze.

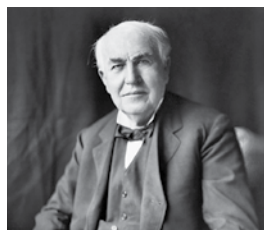
Fizica în cifre

Unele caracteristici ale fulgerului

- Tensiunea — 10–100 MV; intensitatea curentului — 20–300 kA.
- Durata primului impuls — în jur de 80 μ s.
- Temperatura în canal — 10 000 °C.
- Diametrul canalului interior — 0,4 m.



§ 8. CURENTUL ELECTRIC ÎN VID. APARATELE ELECTRICE CU VID



Thomas Edison
(1847–1931)

În anul 1883 inventatorul american *Thomas Edison*, tinzând să prelungească termenul de deservire a invenției sale — becului electric de incandescență, a introdus un electrod în balonul becului de unde a fost evacuat aerul. Unind electrodul la polul pozitiv al sursei de curent, iar filamentul becului — la cel negativ, Edison a observat apariția curentului. Dar iată, când electrodul era legat la polul negativ al sursei, iar filamentul — la cel pozitiv, curent nu se observa. Despre aceea de ce în vid exista curent și de ce becul lui Edison avea o conductibilitate unilaterală voi veți afla din acest paragraf.

1 Emisia termoelectrică

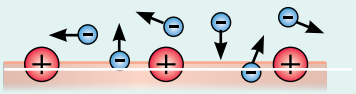
Pentru a înțelege ce reprezintă în sine curentul electric în vid, trebuie de determinat noțiunea de vid.

Vidul (de la lat. *vacuum* — goliciune) — aceasta-i starea gazului la o presiune mai mică decât cea atmosferică.

Se deosebește *vidul slab, mediu, înalt (adânc)*. Când se vorbește despre curentul electric în vid, atunci se are în vedere **vidul înaintat (înalt)** — *starea gazului, în care lungimea parcursului liber al moleculelor gazului este mai mare decât dimensiunile liniare ale vasului, în care se conține gazul.*

Tipurile emisiei electronice

- *Emisia termoelectronică* — procesul radierii electronilor de către corpurile încălzite.

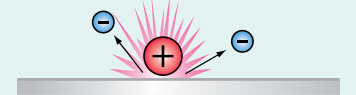


- *Emisia fotoelectronică* are loc sub acțiunea radiației, care cade pe suprafața corpului.



- *Emisia autoelectronică* este condiționată de prezența câmpului electric puternic lângă suprafața corpului, care «smulge» electronii din metal.

- *Emisiile electronice secundară și ion-electronică* — radiația electronilor de pe suprafața corpului în urma bombardării lui cu electroni sau ioni respectiv.



- *Emisia electronică prin explozie* — emisia electronilor în urma trecerii porțiunilor microscopice ale catodului în plasmă (explozie locală).

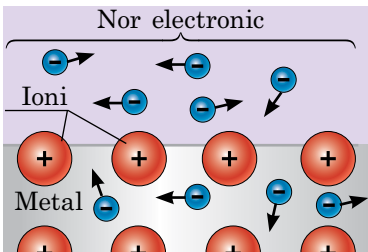


Fig. 8.1. Electronii, care au părăsit metalul, sunt reținuți în apropierea suprafeței lui de către câmpul electric creat de norul electronic și de către ionii pozitivi necompensați ai metalului

Pentru ca în vid să existe curent, trebuie de introdus în el o sursă de particule încărcate libere, de exemplu de electroni. Cea mai mare concentrație de electroni este în metale. Însă electronii liberi de obicei nu pot părăsi suprafața metalului — ei sunt reținuți de forțele coulombiene de atracție din partea ionilor pozitivi. Pentru învingerea acestor forțe electronul trebuie să posede o anumită energie.

Energia, pe care trebuie să o posede electronul, pentru a părăsi metalul se numește **lucru de ieșire** $A_{ieș}$.

Electronul poate părăsi metalul, dacă energia lui cinetică E_c va fi mai mare sau egală cu lucrul de ieșire::

$$E_c \geq A_{ieș}, \text{ sau } \frac{m_e v^2}{2} \geq A_{ieș}$$

Lucrul de ieșire a electronilor se măsoară în *electron-volți* ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$), se determină pentru fiecare metal aparte pe cale experimentală și se introduce în tabele (vezi Anexa 1).

Procesul radierii (smulgerii) electronilor de pe suprafața metalelor se numește emisie electronică. În dependență de aceea, cum a fost transmisă electronilor energia necesară se deosebesc câteva feluri de emisii (vezi coloanța din stânga). Pentru crearea curentului electric în vid, cel mai des se folosește **emisia termoelectronică** — procesul radiației electronilor de către corpurile încălzite.

În metalul încălzit există o cantitate enormă de electroni rapizi, care permanent ies din el. Anume din această cauză lângă suprafața metalului se formează *un nor de electroni liberi* — **nor electronic**, ce are sarcină negativă, iar suprafața metalului însuși obține *sarcină pozitivă* (fig. 8.1). Sub influența câmpului electric, creat de norul electronic și suprafața metalului, unii electroni se reîntorc în metal. În condiție de echilibru numărul electronilor care părăsesc metalul este egal cu numărul electronilor care au revenit în el. Totodată cu cât este mai mare temperatura metalului, cu atât este mai mare densitatea norului electronic.

Fiți de acord: «comportarea» descrisă a electronilor amintește foarte mult de «comportarea» moleculelor lângă suprafața lichidului, iar norul electronic se asociază cu vaporii saturați lângă suprafața lichidului.

2 Curentul electric în vid. Dioda cu vid

Voi deja știți, că pentru existența curentului este necesară îndeplinirea a două condiții: *prezența particulelor libere încărcate și prezența câmpului electric.*

Pentru crearea acestor condiții, într-un balon de sticlă se introduc doi electrozi (catodul și anodul) și se evacuează aerul din el. Catodul se încălzește, folosind filamentul — o sârmă subțire din material greu fuzibil, conectat la o sursă de curent. În rezultat de pe suprafața catodului zboară electronii. Pentru mărirea emisiei electronilor, catodul se acoperă cu un strat de oxizi ai unor metale alcalino-pământoase (Bariu, Stronțiu, Calciu etc.), pentru care lucrul de ieșire al electronilor este mic. Catodului i se comunică un potențial negativ, iar anodului — pozitiv (*conectare directă*). Electronii care părăsesc catodul nimeresc în câmpul electric dintre catod și anod și încep să se miște orientat, creând curent electric (fig. 8.2).

Curentul electric în vid reprezintă mișcarea orientată a electronilor liberi obținuți în rezultatul emisiei electronice.

Dispozitivul, care este compus dintr-un balon de sticlă din care este evacuat aerul și doi electrozi introduși în balon (anodul și catodul încălzit) se numește **diodă cu vid (cu tub)** (fig. 8.3). Evident: dacă de aplicat la catod potențial pozitiv, iar la anod — negativ (*conectare inversă*), atunci electronii care se desprind din catod vor fi aruncați înapoi de câmp pe catod și curent în circuit nu va fi. Astfel dioda cu vid are o conductibilitate unilaterală (fig. 8.4).

? De ce în anul 1883 T. Edison nu a putut explica pricina faptului, că becul lui de incandescentă cu un electrod în plus introdus avea o conductibilitate unilaterală?

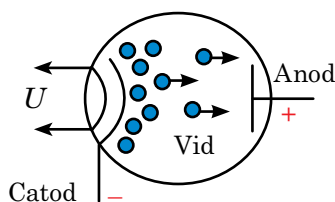


Fig. 8.2. Termoelectronii (electronii, care au ieșit din metal în timpul emisiei termoelectronice), creează curent electric, mișcându-se de la catod spre anod

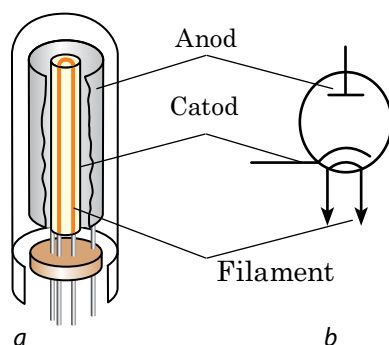


Fig. 8.3. Diodă cu vid:
a — construcția;
b — notarea schematică

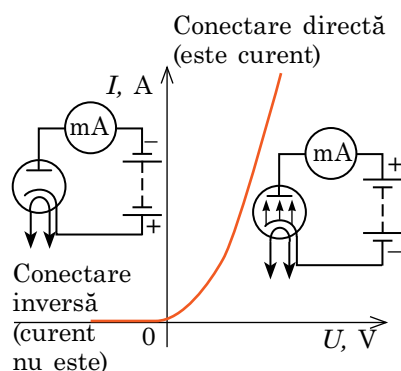


Fig. 8.4. Caracteristica volt-amperică (CVA) a diodei cu vid. *Conectare directă*: la mărirea tensiunii dintre electrozi intensitatea curentului crește rapid. *Conectare inversă*: intensitatea curentului este egală cu zero

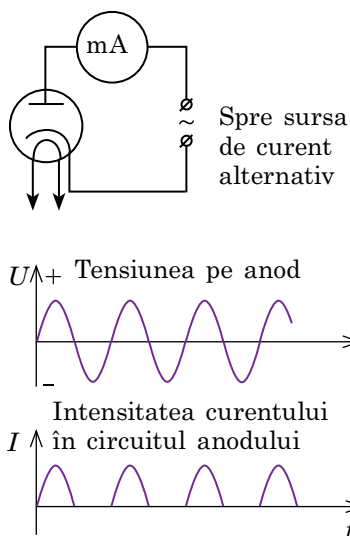


Fig. 8.6. Utilizarea diodei cu vid pentru transformarea curentului alternativ în curent pulsant

Sudarea în spațiul cosmic

La 25 iulie anul 1984 cosmonauții sovietici Vladimir Djanibecov și Svetlana Savițaia au ieșit în spațiul cosmic și în decurs de trei ore au efectuat prima sudare cosmică în condițiile vidului înalt.

Aparatul de sudare a fost descoperit și creat la Institutul de sudare electrică al ANȘU în numele lui E. O. Paton. Aparatul permitea să se realizeze sudarea, lipirea, tăierea și încălzirea metalului. Aceste operații se efectuau cu un tun catodic de focalizare scurtă cu masa de 2,5 kg, care trebuia ținut în mâini.



Timbru poștal al Ucrainei: «Sudarea în cosmos», a. 2006

La timpul său conductibilitatea unilaterală a diodei cu vid era activ utilizată în radio-electronică pentru transformarea curentului alternativ în curent pulsant. Dacă între catod și anod se va conecta o sursă de curent alternativ, atunci în decursul primei jumătăți de perioadă dioda va conduce curentul electric, iar în decursul jumătății a doua de perioadă electronii se vor respinge de anod și în tub nu va fi curent electric (fig. 8.6). Așadar, curentul în circuit va fi de același sens dar pulsant. În electronica contemporană în loc de diodele cu tuburi (cu vid) se folosesc cele semiconductoare (vezi § 9).

3 Fasciculele electronice: proprietățile și utilizarea lor

Dacă în anodul unei diode se va face un orificiu, atunci o parte din electronii, accelerați de câmpul electric, trec în zbor prin orificiu și creează în spatele anodului un **fascicul de electroni** — *flux de electroni, care se mișcă rapid.*

Proprietățile fasciculelor electronice:

- 1) provoacă încălzirea corpurilor în cazul nimeririi pe suprafața lor;
- 2) provoacă apariția radiației Roentgen în cazul frânării rapide;
- 3) provoacă iluminarea unor substanțe și materiale (așa-numiții luminofori);
- 4) sunt abătute de câmpurile electrice și magnetice.

Prima proprietate se aplică în timpul topirii metalelor extra pure, pentru sudarea, lipirea și tăierea metalelor în vid. A doua proprietate se aplică în tuburile Roengen: în timpul frânării bruște a fasciculului electronic apar unde electromagnetice cu frecvența de peste $2 \cdot 10^{17}$ Hz. A treia și a patra proprietăți se aplică în *tuburile cu raze catodice* — dispozitive cu vid cu fascicul de electroni dirijat și un ecran special, care luminează în locurile nimeririi electronilor (fig. 8.7). Tubul cu raze catodice un timp îndelungat a fost elementul principal al *oscilografului* — aparat pentru cercetarea proceselor variabile în circuitele electrice.

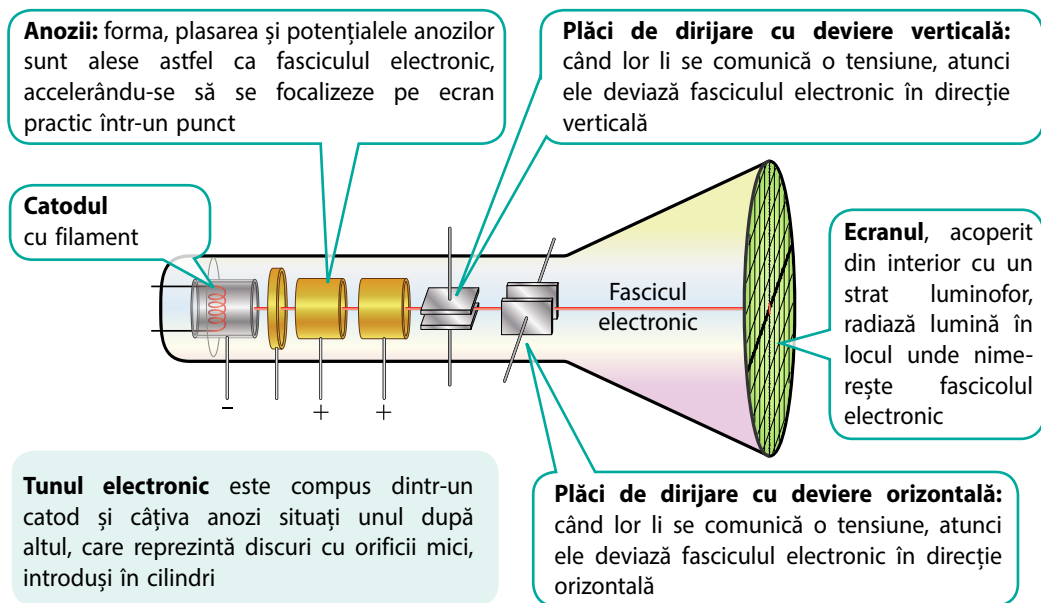


Fig. 8.7. Construcția principală a tubului catodic cu dirijarea electrostatică a fascicolului electronic



Facem totalurile

- Curentul electric în vid reprezintă mișcarea orientată a electronilor liberi. Pentru crearea curentului în vid este necesară o sursă de electroni, în calitate de care sunt folosite conductoarele metalice, încălzite până la temperatură înaltă, iradiate de lumină etc.
- Energia, pe care trebuie să o consume electronul, pentru a părăsi suprafața metalului se numește lucru de ieșire. Electronul poate părăsi metalul, dacă energia lui cinetică va fi mai mare decât lucrul de ieșire sau egală cu el: $\frac{m_e v^2}{2} \geq A_{\text{ieș.}}$. Procesul ieșirii electronilor de pe suprafața metalelor se numește emisie electronică.
- Emisia termoelectronică — procesul radiației electronilor de către corpurile încălzite. Fenomenul emisiei termoelectronice a primit o aplicare largă în dispozitivele electronice cu vid, de exemplu în tuburile cu vid și tuburile cu raze catodice.



Întrebări pentru control

1. Ce prezintă curentul electric în vid?
2. În ce constă fenomenul emisiei electronice?
3. În ce condiție electronul poate părăsi suprafața conductorului?
4. Descrieți procesul formării norului electronic.
5. De ce dioda cu vid are o conductibilitate unilaterală?
6. Unde se aplică dioda cu vid?
7. Numiți principalele proprietăți ale fascicolului electronic.
8. Numiți părțile principale ale tubului cu raze catodice. Care sunt funcțiile lor?



Exercițiul nr. 8

- Stabiliți corespondența dintre potențialele plăcilor de dirijare ale tubului cu raze catodice și direcția devierii punctului luminos pe ecran (fig. 1).

1 $\varphi_1 = \varphi_2, \varphi_3 > \varphi_4$	A Deviază în sus
2 $\varphi_1 > \varphi_2, \varphi_3 > \varphi_4$	B Deviază în jos
3 $\varphi_1 < \varphi_2, \varphi_3 = \varphi_4$	C Deviază la stânga
	D Deviază la dreapta în sus
- Ce viteză minimă trebuie să aibă electronul, pentru a ieși de pe suprafața catodului acoperit cu oxid de bariu?
- Într-un tub cu raze catodice fasciculul de electroni trece diferența de potențial acceleratoare de 10 kV. Ce viteză medie obțin electronii? Considerați, că viteza inițială a mișcării electronilor este egală cu zero.
- În majoritatea tuburilor cu raze catodice dirijarea fasciculului de electroni are loc cu ajutorul câmpului magnetic. În fig. 2 fasciculul de electroni deviază la stânga. Amintiți-vă regula mâinii stângi și determinați, cum este orientat câmpul magnetic de dirijare, care bobine îl creează și care este direcția curentului în aceste bobine.

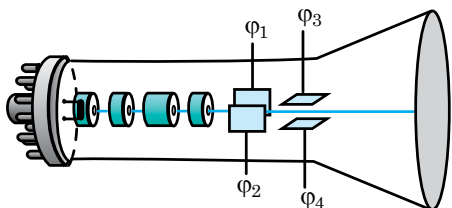


Fig. 1

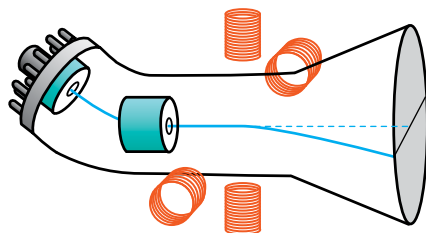


Fig. 2

- Panelurile contemporane TV funcționează cu cristale lichide sau LED-uri, au grosimea de câțiva centimetri și cântăresc atât de puțin, încât pot fi fixate pe perete cu ajutorul magneților. Dar ce fel erau televizoarele de generația întâi? Aflați.

Fizica și tehnica în Ucraina



Vadim Evghenievici Lașcariov (1903–1974) — renumit savant ucrainean sovietic, de numele căruia sunt legate formarea și dezvoltarea fizicii și tehnicii semiconductoarelor în Ucraina. V.E. Lașcariov — unul dintre «părinții» tranzistorului. Astăzi fără aceste dispozitive nu funcționează nici un aparat electronic.

Vadim Evghenievici Lașcariov s-a născut la Kiev, și-a făcut studiile la Institutul de educație publică din Kiev. Apoi la invitația academicianului A.F. Ioffe el a condus laboratorul la Institutul fizico-tehnic din Leningrad. Cercetările lui V.E. Lașcariov despre distribuția densității electronice în cristale s-au dovedit a fi atât de importante, încât în anul 1935 savantului i s-a acordat titlul de doctor în științe fizico-matematice fără ași apăra disertația.

În anul 1939 V. E. Lașcariov a revenit la Kiev și a început să lucreze la Institutul de fizică al Academiei de științe a RSSU. În anul 1941 savantul a descoperit pe cale experimentală trecerea $p-n$ în oxidul de cupru(I). V.E. Lașcariov nu numai că a descoperit trecerea $p-n$ și a studiat influența impurităților asupra acestui fenomen — în anul 1946 învățatul a descoperit difuzia bipolară a purtătorilor neechilibrați ai curentului electric, iar în anul 1948 a construit teoria generală a foto-FEM în semiconductoare.

Recunoașterea rezultatelor renumite ale lui V.E. Lașcariov a devenit crearea în anul 1960 a Institutului de semiconductori al AȘ RSSU, care a fost condus de el. Din anul 2002 Institutul de fizică a semiconductoarelor al ANȘU îi poartă numele.

§ 9. CURENTUL ELECTRIC ÎN SEMICONDUCTOARE



Oricare dintre noi știe bine cum arată becul de incandescență obișnuit. Aproximativ așa o dimensiune o au și lămpile cu vid — diodele și triodele. Dar acum imaginați-vă, că în smartphone-ul vostru, circuitul integrat al procesorului căruia conține câteva miliarde de microtranzistoare în loc de tranzistoare au fost folosite triode... v-ați imaginat dimensiunile unui asemenea smartphone? Câteva clădiri cu mai multe etaje! Acum voi înțelegeți, de ce apariția dispozitivelor semiconductoare în anii 60 a provocat o adevărată revoluție tehnică. Despre dispozitivele semiconductoare și curentul electric în semiconductoare va merge vorba în acest paragraf.

1 Care sunt particularitățile conductibilității semiconductoarelor

Semiconductoarele, după cum rezultă din denumirea lor, după conductibilitatea sa ocupă un loc intermediar între conductoare și dielectrici (fig. 9.1).

În timpul studierii dependenței conductibilității semiconductoarelor de factorii exteriori s-a constatat:

1) spre deosebire de conductoarele metalice *rezistența specifică a semiconductoarelor de obicei scade o dată cu creșterea temperaturii* (fig. 9.2);

2) *rezistența specifică a majorității semiconductoarelor scade o dată cu mărirea iluminării*;

3) *introducerea impurităților poate micșora brusc rezistența specifică a semiconductoarelor*.

Anume aceste proprietăți au asigurat utilizarea largă a semiconductoarelor.

2 Conductibilitatea proprie a semiconductoarelor

Să examinăm structura semiconductoarelor pure (fără impurități) pe exemplul siliciului (fig. 9.3). În cristalul de siliciu fiecare atom are patru electroni de valență, care «răspund» de legătura dintre atomii vecini: atomul de Siliciu parcă «împrumută» vecinilor săi câte un electron de valență; atomii vecini, la rândul lor îi «împrumută» electronii lor de valență. În rezultat între fiecare doi atomi de Siliciu se formează perechea electronică «pentru folosirea comună». Așa o legătură se numește covalență.

Printre electronii de valență neapărat sunt electroni, a căror energie cinetică este atât de

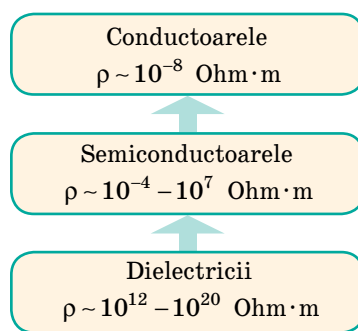


Fig. 9.1. Ordinea rezistenței specifice a materialelor. Prin săgeți este indicată direcția mării concentrației particulelor libere încărcate (direcția mării conductibilității)

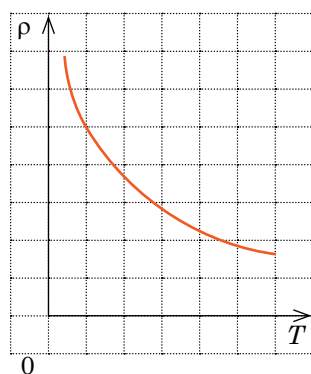


Fig. 9.2. Graficul dependenței rezistenței specifice ρ a semiconductoarelor de temperatura

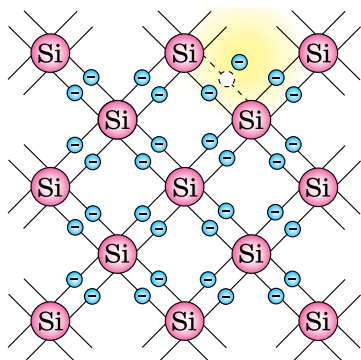


Fig. 9.3. Reprezentarea schematică a legăturii covalente a siliciului

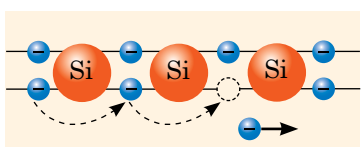


Fig. 9.4. Mecanismul conductibilității prin goluri a semiconductoarelor

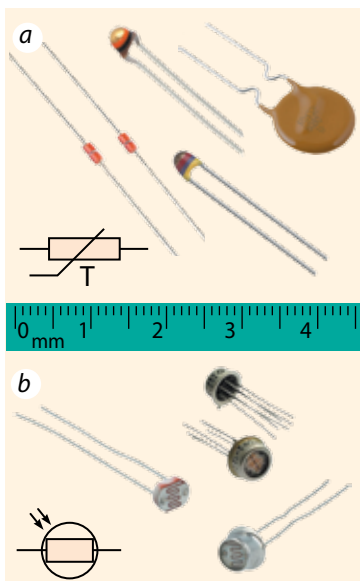


Fig. 9.5. Aspectul exterior și notarea schematică a termistorilor — termorezistoarelor semiconductoare (a) și fotorezistoarelor (b)

mare că ei pot abandona legătura și deveni liberi. Un astfel de electron este prezentat pe câmpul galben al fig. 9.3. Dacă cristalul semiconductorului de-1 amplasat în câmpul electric, atunci electronii liberi vor începe să se miște spre polul pozitiv al sursei de curent și în semiconductor va apărea curent electric.

Conductibilitatea semiconductoarelor condiționată de prezența în ele a electronilor liberi se numește **conductibilitate electronică**.

Mai o dată să revenim la fig. 9.3. După ce electronul «a părăsit» legătura valentă, locul lui a devenit «gol» — fizicienii numesc aceste locuri **goluri**. E clar, că golului i se atribuie o sarcină pozitivă. Pe locul vacant (în gol) poate «sări» electronul din legătura vecină. Atunci golul se va forma lângă atomul vecin. Consecutivitatea acestor «sărituri» arată așa de parcă golul (sarcina pozitivă) se deplasează în cristal (fig. 9.4).

Conductibilitatea semiconductoarelor condiționată de deplasarea golurilor se numește **conductibilitate prin goluri**.

În semiconductorul pur curentul electric este format de aceeași cantitate de electroni liberi și goluri. O astfel de conductibilitate se numește **conductibilitate proprie a semiconductoarelor**.

Dacă semiconductorul se va încălzi sau se va iradia cu lumină, atunci cantitatea electronilor liberi și a golurilor se va mări, respectiv va crește și conductibilitatea semiconductorului.

Pe dependența conductibilității semiconductoarelor de temperatură se bazează acțiunea **termistorilor** (fig. 9.5, a), care se aplică pentru verificarea și măsurarea temperaturii și de asemenea în circuitele de protecție a aparatelor electrice contra supraîncălzirii.

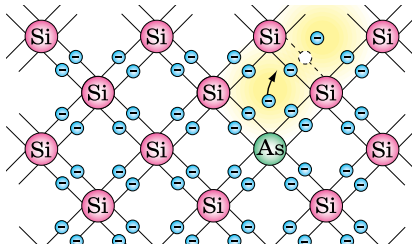
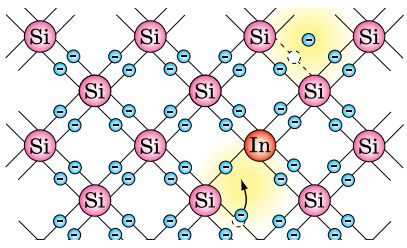
Pe dependența conductibilității semiconductoarelor de iluminare se bazează acțiunea **fotorezistoarelor** (fig. 9.5, b), care se aplică pentru măsurarea iluminării în sistemele semnalizării și automatizării, pentru sortarea produselor etc. Cu ajutorul fotorezistoarelor se previn avariile și accidentele, oprind automat lucrul utilajului în cazul nerespectării mersului unui proces.

? Cum, după părerea voastră, funcționează fotorezistorul în dispozitivul pentru conectarea (deconectarea) accidentală a circuitului electric? Unde voi ați fi aplicat așa un dispozitiv?

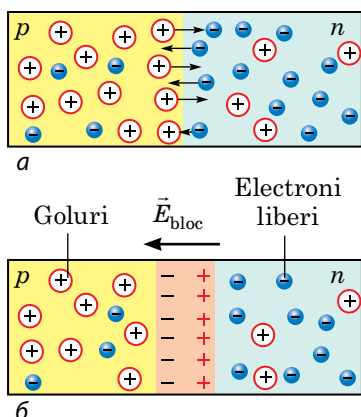
3 De ce asupra conductibilității semiconductoarelor influențează impuritățile

Dacă în semiconductorul pur vom adăuga o cantitate mică de impurități, atunci mecanismul conductibilității se schimbă. Aceasta ușor poate fi urmărit pe exemplul siliciului cu o mică cantitate de impurități de o valență mai mare sau mai mică (Siliciul este un element cu valența a patra).

Conductibilitatea cu impurități a semiconductoarelor

<i>Impurități donoare</i>	<i>Impurități acceptoare</i>
<p>Să adăugăm în cristalul de siliciu o impuritate a elementului cu valența a cincea, de exemplu Arseniu. Patru electroni de valență ai atomului de Arseniu vor forma perechi de legături electronice cu atomii vecini de Siliciu; electronului al cincilea de valență nu-i ajunge legătură, de aceea el ușor poate deveni liber. În rezultat aproape fiecare atom al impurității va da un electron liber.</p> 	<p>Să adăugăm în cristalul de siliciu o impuritate a elementului cu valența a treia, de exemplu Indiu. Atomul de indiu are trei electroni de valență, de aceea el poate «stabili legături» numai cu trei atomi vecini de Siliciu. Pentru a întreține structura rețelei cristaline, electronul absent (al patrulea), Indiul «îl împrumută» de la atomii vecini de Siliciu. În consecință fiecare atom de Indiu este sursă de formare a golurilor.</p> 
<p>Impuritățile, atomii cărora relativ ușor cedează electronii se numesc impurități donoare (de la lat. <i>donare</i> — a dăruii, a jertfi).</p> <p>Vedem, că impuritățile donoare adaugă în cristal numai electroni, iar goluri în plus nu se formează, de aceea <i>în semiconductoarele cu impurități donoare concentrația electronilor liberi este mai mare, decât concentrația golurilor.</i></p> <p>Semiconductoarele cu conductibilitate electronică predominantă se numesc semiconductoare de tip — n (de la lat. <i>negativus</i> — negativ).</p>	<p>Impuritățile, atomii cărora «împrumută» electroni se numesc impurități acceptoare (de la lat. <i>acceptor</i> — acela ce primește).</p> <p>Vedem, că impuritățile acceptoare adaugă în cristalul semiconductor numai goluri, iar electroni liberi în plus nu se formează. <i>În semiconductoarele cu impurități acceptoare principalii purtători de curent — golurile.</i></p> <p>Semiconductoarele cu conductibilitate predominantă prin goluri se numesc semiconductoare de tip — p (de la lat. <i>positivus</i> — pozitiv).</p>

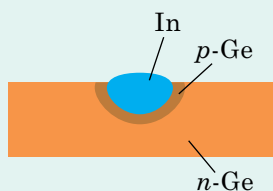
Deoarece în prezența impurităților cantitatea purtătorilor de curent se mărește (fiecare atom al impurității dă un electron liber sau un gol), conductibilitatea semiconductoarelor cu impurități este cu mult mai bună decât conductibilitatea semiconductoarelor pure.


Fig. 9.6. Formarea joncțiunii $p-n$

Obținerea cristalelor cu joncțiune $p-n$

Pentru a obține joncțiunea $p-n$, în cristalul semiconductor trebuie să se creeze două porțiuni de contact cu conductibilitate de diferite tipuri.

Metoda aliajelor. Pe placa monocristalului cu impuritate donor, de exemplu germaniu ($n-Ge$), se pune o bucăciță de indiu și se încălzește până la $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Topindu-se germaniul și indiul formează un strat subțire de semiconductor de tip p ($p-Ge$).



Metoda difuziei. Cristalul cu impuritate acceptoare, de exemplu siliciul ($p-Si$) se încălzește în jur de $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ și se orientează pe suprafața lui vapori de Arseniu. Atomii de Arseniu, difundând în stratul de la suprafața cristalului formează un semiconductor de tip n ($n-Si$).

4 Cum se formează joncțiunea $p-n$

Joncțiunea electron-gol (joncțiunea $p-n$) — porțiunea contactului a două semiconductoare cu conductibilități de diferite tipuri — prin goluri (semiconductor de tip p) și electronică (semiconductor de tip n).

Să examinăm procesele, care au loc în locul de contact. Deodată după ce a avut loc contactul a două semiconductoare cu diferit tip de conductibilitate, începe procesul difuziei electronilor și golurilor. Electronii «difundază» în semiconductorul de tip p , și unele dintre ei se recombina cu golurile; golurile «difundază» în semiconductorul de tip n , și unii dintre ele se recombina cu electronii liberi. Adică au loc procesele de înnoire a legăturilor (fig. 9.6, a). În rezultatul acestor procese:

1) în porțiunile semiconductoarelor alăturate cu locul de contact se micșorează concentrația purtătorilor liberi de curent (porțiunea n pierde electronii liberi, porțiunea p — golurile), de aceea rezistența porțiunii lângă locul de contact crește semnificativ.

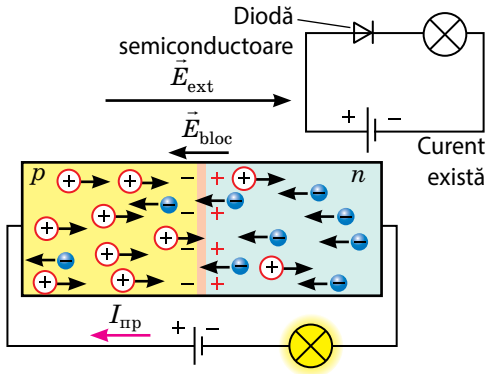
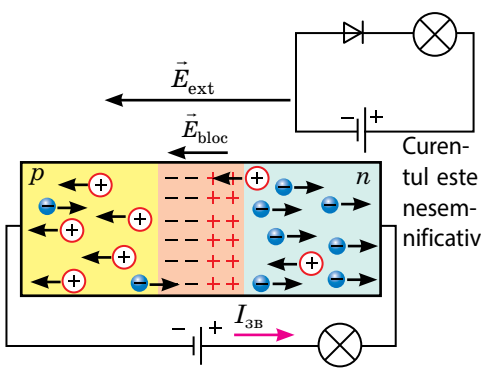
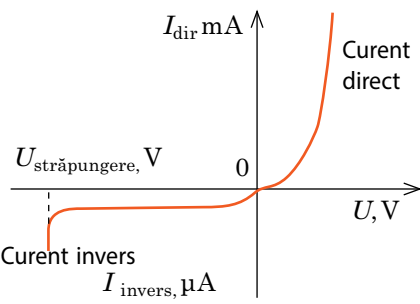
2) porțiunea n alăturată cu locul de contact primește sarcină pozitivă; porțiunea p alăturată cu locul de contact primește sarcină negativă.

Astfel, în jurul locului de contact se formează un *strat de blocare dublu* (trecerea $p-n$), al cărui câmp electric (\vec{E}_{bloc}) împiedică difuzia ulterioară a electronilor și a golurilor (fig. 9.6, b).

5 De ce dioda semiconductoră are conductibilitate într-o singură direcție

Dispozitivul semiconductor, în structura internă a căruia este creată o joncțiune $p-n$ se numește **diodă semiconductoră**.

Orice diodă semiconductoră este compusă din două porțiuni de contact cu conductibilitate de diferite tipuri — electronică (porțiunea n) și prin goluri (porțiunea p); la fiecare porțiune sunt legate contactele. Principala proprietate a diodei semiconductoră — de a lăsa să treacă curentul predominant într-o singură direcție. Să clarificăm de ce joncțiunea $p-n$ are conductibilitate într-o singură direcție.

Conectarea diodei semiconductoare în circuitul electric	
Conectare directă	Conectare inversă
<p>Să conectăm cristallul cu joncțiunea $p-n$ creată în el la sursa de curent astfel, încât porțiunea p să fie legată cu polul pozitiv al sursei, iar porțiunea n — cu cel negativ.</p>  <p>Electronii vor începe mișcarea spre polul pozitiv al sursei de curent, iar golurile — spre cel negativ. Stratul de blocare se va completa cu electroni liberi și cu goluri, de aceea rezistența lui se va micșora. Deoarece prin locul de contact se mișcă principalii purtători de curent (electronii din porțiunea n, golurile din porțiunea p) care sunt mulți, atunci în circuit există un curent electric vizibil.</p>	<p>Să conectăm cristallul cu joncțiunea $p-n$ creată în el la sursa de curent astfel, încât porțiunea p să fie legată cu polul negativ al sursei, iar porțiunea n — cu cel pozitiv.</p>  <p>Electronii vor începe mișcarea spre polul pozitiv al sursei de curent, iar golurile — spre cel negativ. Stratul de blocare se va lărgi și rezistența lui se va mări. Prin locul de contact se mișcă numai purtători de curent secundari (electronii liberi din porțiunea p, golurile din porțiunea n) care sunt foarte puțini, atunci intensitatea curentului invers este cu mult mai mică decât a celui direct.</p>
<p>Atrageți atenția!</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tensiunea stratului de blocare constituie 0,3–0,7 V (în dependență de compoziția semiconductoarelor), de aceea în cazul conectării directe și la tensiunea pe diodă mai joasă decât această valoare mișcarea purtătorilor principali de curent prin joncțiunea $p-n$ nu se va realiza. 2. Dacă la conectarea inversă tensiunea pe diodă va depăși o anumită valoare maximă, dioda se va defecta (va avea loc străpungerea stratului de blocare), iar reînnoirea ei este imposibilă. 	
 <p><i>Caracteristica volt-amperică (CVA) a diodei semiconductoare</i></p>	

Deoarece diodele semiconductoare lasă să treacă curentul electric predominant într-o singură direcție, ele ca și diodele cu lămpi (cu vid) se folosesc pentru redresarea curentului alternativ. Diodele semiconductoare au un șir de priorități față de cele cu vid: ele sunt foarte mici și ele mai ușor pot fi fabricate, deci ele sunt și mai ieftine; pentru funcționarea lor nu trebuie de consumat energie pentru încălzire. De aceea în radioelectronica contemporană se utilizează anume diodele semiconductoare.



Facem totalurile

• Conductibilitatea semiconductoarelor este condiționată de mișcarea electronilor liberi și a celor legați (conductibilitățile electronică și prin goluri). În semiconductorul pur curentul electric este format de aceeași cantitate de electroni liberi și de goluri. O astfel de conductibilitate se numește conductibilitate proprie a semiconductoarelor.

• În cazul introducerii impurităților cu o valență mai mare (impurități donoare) în semiconductorul pur electroni liberi devin cu mult mai mulți, decât goluri. Semiconductoarele cu conductibilitate electronică predominantă se numesc semiconductoare de tip — n .

• În cazul introducerii impurităților cu o valență mai mică (impurități acceptoare) în semiconductorul pur goluri devin cu mult mai multe, decât electroni liberi. Semiconductoarele cu conductibilitate predominantă prin goluri se numesc semiconductoare de tip — p .

Dacă semiconductorul conține două porțiuni de contact cu diferite tipuri de conductibilitate, atunci la limita de contact se formează joncțiunea $p-n$, care are conductibilitate într-o singură direcție. Dispozitivul, în structura internă a căruia este creată o joncțiune $p-n$ se numește diodă semiconductoră.

Întrebări pentru control



1. Care sunt proprietățile principale ale semiconductoarelor? 2. Explicați mecanismul conductibilității proprii ale semiconductoarelor. 3. Cum se va schimba rezistența semiconductorului pur, dacă se va adăuga o impuritate? 4. Care impuritate se numește donora? 5. Ce impuritate trebuie de introdus, pentru a obține semiconductor de tip p ? 6. Cum se poate fabrica un cristal cu joncțiunea electron-gol? 7. De ce cristalul semiconductorului cu joncțiune $p-n$ are o conductibilitate unilaterală? 8. Ce este dioda semiconductoră? Arătați notația ei pe schema circuitului electric.

Exercițiul nr. 9



- Care dintre afirmațiile date este adevărată?
 A Semiconductorul cu conductibilitate acceptoare este un semiconductor de tip p .
 B Conductibilitatea semiconductoarelor crește odată cu iluminarea.
 C Rezistența joncțiunii $p-n$ depinde de direcția curentului.
- În fig. 1 este prezentată schema conectării directe a semiconductorului cu joncțiune $p-n$ într-un circuit de curent continuu. Care este polaritatea conectării sursei de curent la clemele A și B ?
- Circuitul electric (fig. 2) este compus din cinci rezistoare identice cu rezistența de 5 Ohm, două diode ideale și o sursă de curent ideală (rezistențele diodelor și a sursei de curent sunt egale cu zero). Determinați: 1) rezistența totală a circuitului; 2) raportul dintre intensitatea curentului în circuit și intensitatea curentului după schimbarea polarității conectării sursei de curent.
- Schema electrică prezentată în fig. 3 are denumirea de *punte redresoare din diode*. Aflați cum «funcționează» această schemă și pentru ce ea este destinată.

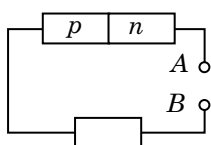


Fig. 1

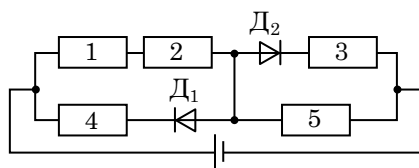


Fig. 2

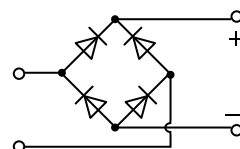


Fig. 3

LUCRARE EXPERIMENTALĂ NR. 1

Tema. Verificarea legăturilor în serie și în paralel a conductoarelor.

Scopul: de a verifica corelațiile, care se adevăresc în cazul legăturilor în serie și în paralel a conductoarelor.

Utilajul: o sursă de curent, voltmetru, ampermetru, întrerupător, două rezistoare, conductoare de conexiune.



INDICAȚII LA LUCRARE

Respectați strict instrucțiunile tehnicii securității (vezi forzațul).

Rezultatele măsurătorilor și calculelor introduceți-le deodată în tabel.



Pregătirea pentru experiment

1. Desenați schemele a două circuite electrice. Fiecare circuit trebuie să conțină două rezistoare, care sunt legate prin întrerupător cu sursa de curent: *schema 1* — rezistoarele sunt legate în serie; *schema 2* — rezistoarele sunt legate în paralel.
2. Lângă fiecare schemă notați corelațiile, pe care voi trebuie să le verificați (formulele pentru determinarea intensității totale a curentului, tensiunii totale, rezistenței totale).



Experiență

Experimentul 1. Cercetarea legăturii în serie a conductoarelor

1. Montați circuitul electric după schema 1 desenată de voi.
2. Măsurați tensiunea pe primul rezistor (U_1), pe al doilea rezistor (U_2), pe ambele rezistoare împreună (U). Desenați schemele circuitelor electrice corespunzătoare.
3. Măsurați intensitatea curentului, conectând ampermetrul mai întâi între sursa de curent și primul rezistor (I_1), apoi între primul și cel de-al doilea rezistor (I_2), iar apoi între întrerupător și sursa de curent (I). Desenați schemele circuitelor electrice corespunzătoare.

Tabelul 1

Tensiunea, V				$\varepsilon_{U_{serie}},$ %	Intensitatea curentului, A			Rezistența, Ohm				$\varepsilon_{R_{serie}},$ %
U_1	U_2	U	U_{serie}		I_1	I_2	I	R_1	R_2	R	R_{serie}	

Experimentul 2. Cercetarea legăturii în paralel a conductoarelor

1. Montați circuitul electric după schema 2 desenată de voi.
2. Măsurați tensiunea pe fiecare rezistor (U_1 , U_2), pe ambele rezistoare (U). Desenați schema circuitului electric.
3. Măsurați intensitatea curentului în primul rezistor (I_1), în cel de-al doilea rezistor (I_2), în porțiunea neramificată a circuitului (I). Desenați schemele circuitelor electrice corespunzătoare.

Tabelul 2

Tensiunea, V			Intensitatea curentului, A				$\varepsilon_{I_{paralel}},$ %	Rezistența, Ohm				$\varepsilon_{R_{paralel}},$ %
U_1	U_2	U	I_1	I_2	I	$I_{paralel}$		R_1	R_2	R	$R_{paralel}$	

▶ Prelucrarea rezultatelor experimentului

1. Aplicând *legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit*, pentru fiecare experiență determinați rezistența primului rezistor (R_1), rezistența rezistorului al doilea (R_2), rezistența totală a porțiunii de circuit (R).
2. Aplicând *corelațiile pentru legăturile în serie și în paralel a consumatorilor*, pentru fiecare experiență determinați rezistența totală a porțiunii de circuit, tensiunea pe porțiune, intensitatea curentului în circuit:

$$R_{\text{serie}} = R_1 + R_2, \quad U_{\text{serie}} = U_1 + U_2; \quad R_{\text{paralel}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad I_{\text{paralel}} = I_1 + I_2.$$

3. Evaluați eroarea relativă a confirmării experimentale pentru fiecare egalitate:

$$\varepsilon_{R \text{ serie}} = \left| 1 - \frac{R_{\text{serie}}}{R} \right| \cdot 100\%, \quad \varepsilon_{U \text{ serie}} = \left| 1 - \frac{U_{\text{serie}}}{U} \right| \cdot 100\%;$$

$$\varepsilon_{R \text{ paralel}} = \left| 1 - \frac{R_{\text{paralel}}}{R} \right| \cdot 100\%, \quad \varepsilon_{I \text{ paralel}} = \left| 1 - \frac{I_{\text{paralel}}}{I} \right| \cdot 100\%.$$

□ Analiza experimentului și a rezultatelor lui

După rezultatele experienței formulați și scrieți concluzia, în care să menționați: 1) ce experimente ați efectuat voi; 2) care corelații au fost confirmate; 3) ce factori au influențat asupra preciziei rezultatelor experienței.

+ Însărcinare creativă

Gândiți-vă, ce experiență pentru determinarea rezistenței rezistorului poate fi efectuată, dacă în utilajul lucrării de laborator: 1) în loc de ampermetru se va folosi un rezistor cu rezistență cunoscută; 2) în loc de voltmetru se va folosi un rezistor cu rezistență cunoscută. Scrieți planul fiecărei experiențe, desenați schemele corespunzătoare. Efectuați experiențele.

LUCRARE EXPERIMENTALĂ NR. 2

Tema. Măsurarea FEM și a rezistenței interioare a sursei de curent.

Scopul: de a măsura FEM și rezistența interioară a unei baterii de elemente galvanice pe baza rezultatelor obținute la măsurarea intensității curentului din circuit și a tensiunii pe partea exterioră a circuitului.

Utilajul: o sursă de curent (baterie de elemente galvanice), voltmetru, ampermetru, întrerupător, reostat, conductoare de conexiune.



INDICAȚII LA LUCRARE

Respectați strict instrucțiunile tehnicii securității (vezi forțașul).

Rezultatele măsurărilor și calculelor introduceți-le deodată în tabel.



Pregătirea pentru experiment

1. Desenați schema circuitului electric, reprezentat pe desen.
2. Scrieți legea lui Ohm pentru un circuit închis și obțineți formula pentru determinarea rezistenței interioare a sursei de curent (luați în considerare, că $IR=U$).



Experiență

1. Montați circuitul electric după schema desenată de voi. Stabiliți cursorul reostatului în așa o poziție, încât rezistența reostatului să fie maximă.
2. Măsurați tensiunea pe clemele sursei de curent în cazul, când întrerupătorul este deschis (valoarea obținută va corespunde FEM a sursei de curent — $\mathcal{E}_{\text{măs}}$).
3. Închideți întrerupătorul și măsurați intensitatea curentului I în circuit și tensiunea U pe porțiunea exterioară a circuitului.
4. Deplasați cursorul reostatului (adică schimbați rezistența reostatului) și din nou măsurați intensitatea curentului I în circuit și tensiunea U pe porțiunea exterioară a circuitului.
5. Repetați acțiunile descrise în p. 4, încă de trei ori.

Nu- mărul expe- rien- ței	FEM $\mathcal{E}_{\text{măs}}$, V	Inten- sitatea curen- tului I , A	Tensiu- nea U , V	Rezis- tența in- terioară r , Ohm	Valoarea medie a rezistenței interioare r_{med} , Ohm	Rezultatele măsurătorilor: $r = r_{\text{med}} \pm \Delta r$, Ohm $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{măs}} \pm \Delta \mathcal{E}$, V



Prelucrarea rezultatelor experimentului

1. Folosind formula $r = \frac{\mathcal{E}_{\text{măs}} - U}{I}$, determinați rezistența interioară r a sursei de curent după rezultatul fiecări experiențe și valoarea medie a rezistenței interioare (r_{med}): $r_{\text{med}} = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5}{5}$.

2. Determinați eroarea absolută a măsurării FEM a sursei de curent:
 $\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}_{\text{ap}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{aleat}}$, unde $\Delta \mathcal{E}_{\text{ap}}$ — eroarea voltmetrului (vezi Anexa 2);
 $\Delta \mathcal{E}_{\text{aleat}}$ — eroarea aleatorie (eroarea măsurătorii), care în acest caz este egală cu jumătate din valoarea diviziunii scării voltmetrului.

3. Evaluați erorile absolută (Δr) și relativă (ε_r) a măsurării rezistenței interioare a sursei de curent:

$$\Delta r = \frac{|r_{\text{med}} - r_1| + |r_{\text{med}} - r_2| + |r_{\text{med}} - r_3| + |r_{\text{med}} - r_4| + |r_{\text{med}} - r_5|}{5}; \quad \varepsilon_r = \frac{\Delta r}{r_{\text{med}}}$$

4. Rotunjiți rezultatele, aplicând regulile rotunjirii (vezi Anexa 2), și prezentați rezultatele măsurării FEM și rezistenței interioare sub forma:
 $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{măs}} \pm \Delta \mathcal{E}; \quad r = r_{\text{med}} \pm \Delta r$.

Analiza experimentului și a rezultatelor lui

După rezultatele experienței formulați și scrieți concluzia, în care să menționați: 1) ce mărimi fizice ați măsurat voi; valoarea cărei mărimi a fost stabilită pe calea măsurătorilor directe, și a cărei mărimi — indirecte; 2) care sunt rezultatele măsurătorilor; 3) în ce constă pricina erorilor măsurătorilor; măsurarea cărei mărimi dă eroarea maximă.

+ Însărcinare creativă

1. Demonstrați, că graficul dependenței tensiunii U pe porțiunea exterioară a circuitului de intensitatea curentului I în circuit este o linie dreaptă, care începe în punctul ($I=0$; $U=\mathcal{E}$) și se termină în punctul ($I=\frac{\mathcal{E}}{r}$; $U=0$).
2. După datele obținute în timpul experimentului construiți graficul dependenței $I(U)$. (Despre regulile construirii graficului conform punctelor experimentale vezi în Anexa 2.)
3. Prelungind graficul până la intersecția cu axele tensiunii și intensității curentului, determinați FEM a sursei de curent și intensitatea curentului de scurtcircuit.
4. Folosind formula $I_{sc} = \frac{\mathcal{E}}{r}$, determinați rezistența interioară a sursei de curent.
5. Care dintre valorile FEM a sursei de curent și valorile rezistenței interioare măsurate prin diferite metode sunt mai precise? Explicați de ce?

LUCRARE EXPERIMENTALĂ NR. 3

Tema. Măsurarea coeficientului termic al rezistenței metalului.

Scopul: de a demonstra pe cale experimentală, că dependența rezistenței electrice a conductorului metalic de temperatură este liniară; de a determina coeficientul termic al rezistenței cuprului.

Utilajul: multimetru, termometru, aparat pentru determinarea dependenței rezistenței metalelor de temperatură, încălzitor, un vas cu apă, stativ cu mufă și clește, un bec pe suport, hârtie milimetrică.

INDICAȚII LA LUCRARE

Respectați strict instrucțiunile tehnicii securității (vezi forzațul).

Rezultatele măsurătorilor și calculelor introduceți-le deodată în tabel.



II Pregătirea pentru experiment

1. Montați instalația reprezentată în desen.
2. Fixați comutatorul multimetrului pentru măsurarea rezistenței (Ω), stabilindu-l în dreptul marcării 10^3 Ohm.

▶ **Experiență**

1. Măsurăți temperatura inițială t_0 și rezistența R a conductoului din cupru la această temperatură.
Atrageți atenția! Clemele dispozitivului trebuie să fie atinse cu sondele de test ale multimetrului numai în momentul măsurării rezistenței.
3. Porniți încălzitorul și, urmărind indicațiile termometrului, determinați rezistența sârmei peste fiecare $10\text{ }^\circ\text{C}$ în intervalul de la 30 până la $90\text{ }^\circ\text{C}$. Închideți încălzitorul.

Temperatura t , $^\circ\text{C}$	$t_0 =$	30	40	50	60	70	80	90
Rezistența R , κOhm	$R =$							

▶▶ **Prelucrarea rezultatelor experimentului**

1. După datele tabelului construiți pe hârtie milimetrică graficul dependenței rezistenței sârmei de temperatura ei — $R(t)$. (Despre regulile construirii graficului după punctele experimentale vezi în Anexa 2.)
2. Prelungind graficul $R(t)$ până la intersecția cu axa ordonatelor, aflați rezistența R_0 a sârmei din cupru la temperatura $0\text{ }^\circ\text{C}$.
3. Alegeți pe grafic un punct arbitrar și determinați pentru el valorile corespunzătoare ale rezistenței R și temperaturii t a sârmei de cupru. Folosind formula $\alpha_{\text{med}} = \frac{R - R_0}{R_0 t}$, determinați valoarea medie a coeficientului termic al rezistenței cuprului.
4. Evaluați erorile relativă și absolută ale experimentului, comparând rezultatul obținut cu valoarea tabelară a coeficientului termic al rezistenței cuprului (vezi Anexa 1):

$$\varepsilon_\alpha = \left| 1 - \frac{\alpha_{\text{med}}}{\alpha_{\text{tab}}} \right|; \quad \Delta\alpha = \alpha_{\text{med}} \cdot \varepsilon.$$

□ **Analiza experiementului și a rezultatelor lui**

Analizați experiența și rezultatele ei. După rezultatele experienței formulați și scrieți concluzia, în care să menționați: 1) ce mărime fizică ați măsurat voi; 2) care este rezultatul măsurătorii; 3) în ce constă cauza erorii măsurătorilor.

+ **Însărcinare creativă**

Gândiți-vă și scrieți lista utilajului necesar și planul efectuării experimentului pentru determinarea temperaturii filamentului becului de incandescență în stare de lucru. Considerați, că filamentul este confecționat din wolfram. Efectuați experimentul.

FACEM TOTALURILE CAPITOLULUI I «ELECTRODINAMICA».

Partea 1. Curentul electric

- Voi v-ați aprofundat cunoștințele voastre despre *curentul electric* — mișcarea orientată a particulelor libere încărcate.

Prezența particulelor libere, care au sarcină electrică

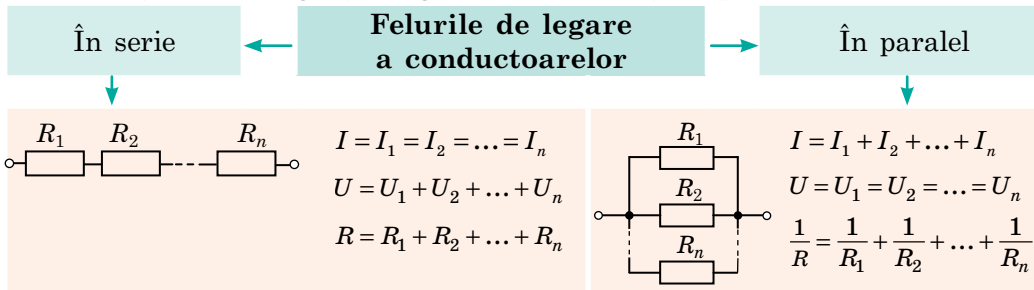
Condițiile de existență a curentului electric

Prezența câmpului electric

- Voi v-ați amintit, că despre prezența curentului electric se poate afla *după acțiunile lui*, iar câmpul electric este creat de *sursele de curent*.

- Voi ați învățat *mărimile fizice*, care sunt utilizate pentru caracterizarea circuitului electric și ați urmărit *legătura dintre ele*.

- Voi v-ați amintit *legitățile legăturilor în serie și în paralel a consumatorilor*.



- Voi ați făcut cunoștință *cu legea lui Ohm pentru un circuit închis*: $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$; *v-ați amintit legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit*: $I = \frac{U}{R}$.

- Voi v-ați amintit formulele pentru determinarea *lucrului și puterii curentului* și a *cantității de căldură*, care întotdeauna se degajă în timpul trecerii curentului.

<i>Lucrul curentului</i>	<i>Puterea curentului</i>	<i>Cantitatea de căldură</i>
$A = UI t$	$P = UI$	$Q = I^2 R t$

- Voi ați aflat despre *particularitățile curentului electric în diferite medii*.

Curentul electric în diferite medii

<p>Metale</p> <p>Mișcarea orientată a electronilor liberi.</p> <p><i>Dependența rezistenței specifice de temperatură:</i></p> <p>$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$; α — coeficientul termic al rezistenței</p>	<p>Lichide</p> <p>Mișcarea orientată a ionilor liberi.</p> <p><i>Legile electrolizei:</i></p> <p>1. $m = kq = kIt$ 2. $k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}$</p>	<p>Gaze</p> <p>Mișcarea orientată a ionilor și electronilor liberi.</p> <p>$\frac{m_e v^2}{2} \geq W_i$; W_i — energia de ionizare</p>	<p>Semiconductoare</p> <p>Mișcarea orientată a electronilor liberi și a golurilor (electronilor liberi și legați).</p>	<p>Vid</p> <p>Mișcarea orientată a electronilor.</p> <p>$\frac{m_e v^2}{2} \geq A_{ieș}$; $A_{ieș}$ — lucrul de ieșire a electronilor</p>
---	---	--	---	---



ÎNSĂRCINĂRI PENTRU AUTOVERIFICARE LA CAPITOLUL I «ELECTRODINAMICA». Partea 1. Curentul electric

Însărcinarea 1. Rezistențele tuturor rezistoarelor pe porțiunea de circuit sunt aceleași și sunt egale cu 20 Ohm (fig. 1).

- (2 baluri) Determinați rezistența porțiunii de circuit în cazul, când va fi închisă numai cheia K_2 :
a) 20 Ohm; b) 40 Ohm; c) 10 Ohm; d) 30 Ohm.
- (3 baluri) Care cheie trebuie închisă pentru ca rezistența porțiunii de circuit să fie de 60 Ohm?
- (3 baluri) La porțiunea de circuit este aplicată o tensiune de 120 V. Care chei trebuie închise pentru ca ampermetrul să indice 12 A? Răspunsul motivați-l.

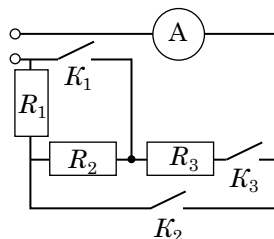


Fig. 1

Însărcinarea 2. Spirala unei plite electrice este fabricată din sârmă de nicrom cu secțiunea de $0,15 \text{ mm}^2$ și lungimea de 10 m. Plita este conectată într-o rețea cu tensiunea de 220 V.

- (2 baluri) Calculați cantitatea de căldură, care se degajă în spirala plitei electrice în 20 min de lucru.
- (3 baluri) Calculați volumul de apă luată la temperatura de 15°C , pe care plita dată o poate încălzi până la fierbere în 20 min. Randamentul plitei este de 80%

Însărcinarea 3. La o sursă de curent cu FEM de 1,5 V și rezistența interioară de 1 Ohm este conectat un rezistor cu rezistența de 4 Ohm.

- (2 baluri) Care este intensitatea curentului în circuit?
a) 0,3 A; b) 4,4 A; c) 1,5 A; d) 7,5 A.
- (3 baluri) Calculați rezistența șuntului care trebuie conectat la miliampermetru cu limita măsurării de 10 mA, pentru ca acest miliampermetru să poată măsura intensitatea curentului în circuit. Rezistența interioară a miliampermetrului — 9,9 Ohm.

Însărcinarea 4. În fig. 2 este reprezentată schema circuitului electric, în componența căruia intră două băi electrolitice: cu soluție de CuSO_4 (baia 1) și cu soluție de AgNO_3 (baia 2).

- (1 bal) Ce purtători de curent sunt în electrolit?
a) goli; c) ioni negativi;
b) electroni; d) ioni pozitivi.
- (3 baluri) Determinați masa argintului, care s-a depus pe catodul băii 2, dacă pe catodul băii 1 s-a depus 0,36 g de cupru. Cât timp a durat electroliza?

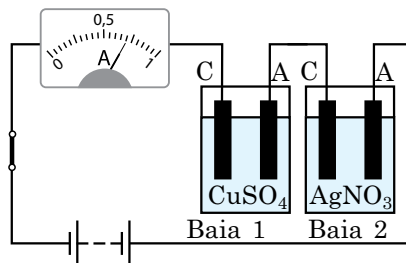


Fig. 2

Însărcinarea 5. Intensitatea curentului în filamentul de wolfram al unui bec cu incandescență în momentul introducerii becului depășește de 12,5 ori intensitatea curentului de lucru.

- (1 bal) Rezistența filamentului în timpul încălzirii:
a) nu se schimbă; c) tot timpul scade;
b) tot timpul se mărește; d) mai întâi scade, iar apoi crește.
- (2 baluri) Calculați temperatura filamentului de incandescență al becului în stare de lucru, dacă în momentul închiderii temperatura lui este de 20°C .

Confrunțați răspunsurile voastre cu cele indicate la sfârșitul manualului. Notați însărcinările, pe care le-ați efectuat corect și calculați suma balurilor. Împărțiți această sumă la doi. Numărul obținut va corespunde nivelului atins de voi la învățătură.

PARTEA 2. ELECTROMAGNETISMUL



Fig. 10.1. *Experiența lui Oersted:* în apropierea conductorului cu curent acul magnetic se abate de la direcția «nord — sud», tinzând să se amplaseze perpendicular pe conductor

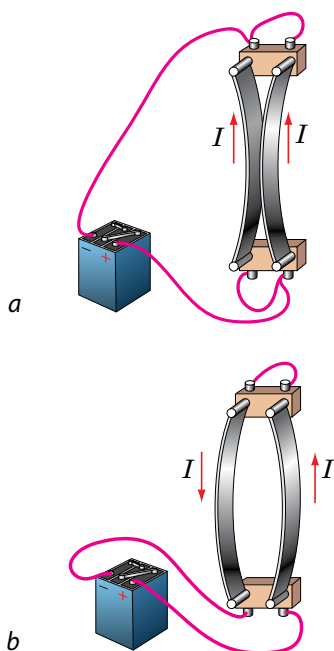


Fig. 10.2. *Schema experienței lui Ampere.* Dacă prin două conductoare paralele curg curenți în aceeași direcție, conductoarele se atrag (a), dacă în direcții opuse — se resping (b)



§ 10. CÂMPUL MAGNETIC

În anul 1813 fizicianul danez Hans Christian Oersted (1777–1851) scria: «Trebuie de încercat, oare efectuează electricitatea ... oarecare acțiuni asupra magnetului...». Și abia în iarna anului 1820 Oersted observă și cercetează fenomenul abaterii acului magnetic lângă un conductor cu curent (fig. 10.1). Aceasta a fost prima confirmare experimentală a legăturii dintre electricitate și magnetism. De ce acul se abate? De ce se întoarce, dacă se schimbă direcția curentului? Să ne amintim.



1 Care obiecte creează câmp magnetic

Voi deja știți bine, că în jurul corpurilor și particulelor încărcate există câmp electric, prin intermediul căruia între ele se realizează *interacțiunea electrică*; dacă particulele încărcate se mișcă, atunci în jurul lor există de asemenea și câmp magnetic, prin intermediul căruia între ele se realizează *interacțiunea magnetică*. Fizica contemporană studiază o unică *interacțiune electromagnetică*. Ea se realizează prin intermediul *câmpului electromagnetic*, care are două componente (două forme de manifestare) — *câmpul electric* și *câmpul magnetic*. Să examinăm mai detaliat câmpul magnetic.

Să luăm două conductoare flexibile subțiri, le vom așeza paralel unul față de celălalt și vom lăsa să treacă prin ele curentul electric — conductoarele se vor atrage sau se vor respinge unul de altul în pofida faptului, că sunt neutri din punct de vedere electric (fig. 10.2). Pentru prima dată această experiență a fost demonstrată în primăvara anului 1820 de către fizicianul și matematicianul francez *Andre Marie Ampere* (1775–1836).

Ampere a fost adeptul *teoriei acțiunii la distanță* și considera, că interacțiunea conductoarelor cu curent se efectuează instantaneu, iar spațiul ambiant nu participă la această interacțiune.

Fizicianul englez *Michael Faraday* (1791–1867) a creat *teoria acțiunii de aproape*, din al cărei punct de vedere particulele încărcate, care se mișcă orientat în fiecare dintre două conductoare cu curent, creează în spațiul înconjurător un câmp magnetic. Câmpul magnetic al unui conductor acționează asupra conductorului al doilea și invers. Adică interacțiunea conductoarelor

cu curent se efectuează cu o anumită viteză prin intermediul *câmpului magnetic*.

Câmpul magnetic — aceasta-i o formă de existență a materiei, care este creată de corpurile magnetizate, conductoarele parcurse de curent, câmpurile electrice variabile, corpurile și particulele încărcate mobile. Câmpul magnetic se observă prin acțiunea lui asupra altor corpuri magnetizate, conductoare cu curent, corpuri și particule încărcate mobile situate în acest câmp.

2 Caracteristica de forță a câmpului magnetic

Dacă un conductor rectiliniu, confecționat din material nemagnetic va fi suspendat de conductoare subțiri între polii unui magnet permanent și prin conductor de slobozit curent, atunci conductorul va devia. Cauza acestei devieri este *forța, care acționează asupra conductorului cu curent din partea câmpului magnetic, — forța Ampere \vec{F}_A* (fig. 10.3).

Schimbând intensitatea curentului în conductor, lungimea părții active a conductorului (adică partea conductorului, care se află în câmp magnetic), unghiul dintre conductor și liniile inducției magnetice ale câmpului magnetic ne putem convinge că:

1) forța Ampere este direct proporțională și cu intensitatea curentului I și cu lungimea părții active a conductorului l și, deci este direct proporțională cu produsul lor: $F \sim Il$;

2) forța Ampere este maximă, dacă conductorul este situat perpendicular pe liniile inducției magnetice.

Deoarece $F_{Amax} \sim Il$, atunci pentru porțiunea dată a câmpului magnetic raportul $\frac{F_{Amax}}{Il}$

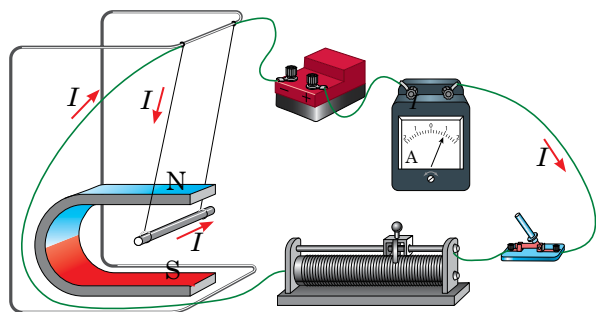
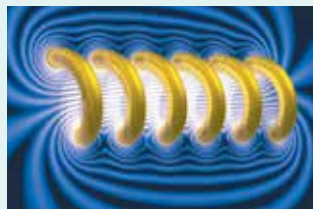


Fig. 10.3. Conductorul de aluminiu deviază în câmpul magnetic al magnetului permanent în urma acțiunii forței Ampere

Proprietățile câmpului magnetic



1. *Câmpul magnetic este material* – el există real, independent de imaginațiile noastre.

2. *Câmpul magnetic este o componentă a câmpului electromagnetic.*

3. *Câmpul magnetic este creat de către:*

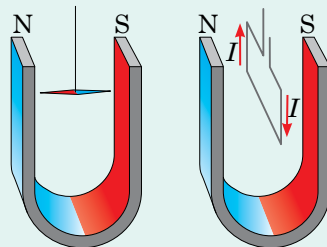
- corpurile magnetizate;
- conductoarele cu curent;
- particulele mobile și corpurile încărcate;
- câmpul electric variabil.

4. *Câmpul magnetic acționează cu o anumită forță:*

- asupra corpurilor și particulelor încărcate, ce se mișcă în acest câmp;
- asupra conductoarelor cu curent;
- asupra corpurilor magnetizate.

5. *Câmpul magnetic efectuează o acțiune de orientare:*

- asupra acului magnetic;
- asupra unui cadru cu curent.



6. *Câmpul magnetic acționează asupra oricărei substanțe, magnetizând-o într-un oarecare mod.*

Fizica în cifre

Cei mai puternici magneți

■ Printre sursele de câmp magnetic cunoscute de noi cel mai puternic câmp magnetic în Univers — până la $1 \cdot 10^{11}$ T — îl au *magnetarii* (stelele magnetice neutronice). Pentru comparație: inducția magnetică a câmpului magnetic al Soarelui este de numai 5 mT, al Pământului — de 100 de ori mai mică.

■ În august anul 1918 fizicienii japonezi au generat cel mai puternic câmp magnetic artificial în încăperea — 1200 T. Pentru comparație: inducția magnetică a câmpului magnetic, pe care îl creează electromagnetii supraconductori ai Marelui colaid de hadroni — 8,3 T.

nu depinde nici de intensitatea curentului în conductor și nici de lungimea conductorului, dar depinde numai de proprietățile câmpului magnetic. De aceea acest raport s-a luat ca *caracteristică de forță a câmpului magnetic* — ea a primit denumirea de *inducție magnetică*.

■ **Inducția magnetică** \vec{B} — mărimea fizică vectorială, care caracterizează acțiunea de forță a câmpului magnetic și ca modul este egală cu raportul dintre forța maximă, cu care câmpul magnetic acționează asupra conductorului parcurs de curent care este situat în acest câmp și produsul intensității curentului în conductor și lungimea părții active a conductorului:

$$B = \frac{F_{A\max}}{Il}$$

Unitatea de măsură a inducției magnetice în SI – tesla (numită în cinstea fizicianului sârb *Nikola Tesla* (1856–1943)):

$$[B] = 1 \frac{\text{H}}{\text{A} \cdot \text{m}} = 1 \text{ T (T)}.$$

1 tesla – este inducția unui astfel de câmp magnetic uniform, care acționează cu forța maximă de 1 newton asupra unui conductor cu lungimea de 1 metru prin care trece un curent de 1 amper.

❓ Câmpul magnetic acționează asupra unui conductor cu lungimea de 10 cm cu forța maximă de 5 μN . Determinați inducția magnetică a acestui câmp magnetic, dacă intensitatea curentului în conductor constituie 2 A.

Inducția magnetică — o mărime fizică vectorială, de aceea pentru a o determina în întregime trebuie de știut nu numai valoarea ei, ci și direcția. Drept direcție a vectorului inducției magnetice în punctul dat al câmpului magnetic este aleasă *direcția, pe care o indică polul nord al acului magnetic*, situat în acest punct (fig. 10.4, a).

Direcția vectorului inducției magnetice a câmpului magnetic a unui conductor cu curent și a unei bobine cu curent se determină cu ajutorul regulii burghiului sau cu ajutorul mâinii drepte.

■ Dacă de orientat degetul mare al mâinii drepte în direcția curentului electric din conductor, atunci patru degete îndoite vor indica direcția liniilor inducției magnetice a câmpului magnetic al curentului (fig. 10.4, b).

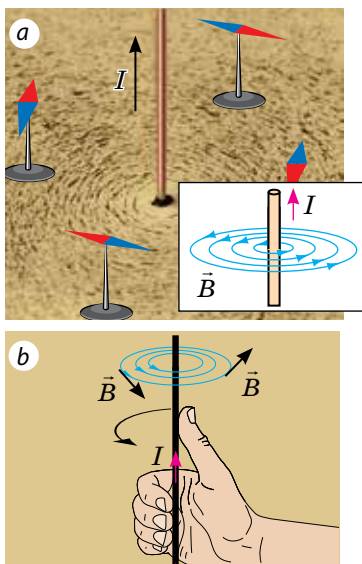


Fig. 10.4. Determinarea direcției inducției magnetice a câmpului magnetic al conductorului cu curent

Dacă patru degete îndoite ale mâinii drepte de le îndreptat după direcția curentului în bobină, atunci degetul mare dezoit la 90° va indica direcția liniilor inducției magnetice a câmpului magnetic în interiorul bobinei (fig. 10.5).

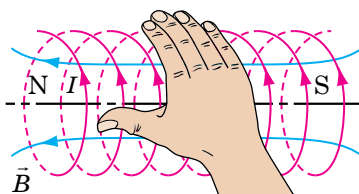


Fig. 10.5. Determinarea direcției inducției magnetice a câmpului magnetic al bobinei cu curent

3 Liniile de inducție magnetică

Câmpurile magnetice nu sunt percepute de organele de simț ale omului. Pentru a vizualiza câmpurile magnetice M. Faraday a propus de le reprezentat sub formă de *linii de inducție magnetică*.

Liniile de inducție magnetică — linii convenționale orientate, în fiecare punct al cărora tangenta coincide cu linia, de-a lungul căreia este orientat vectorul inducției magnetice.

Liniile de inducție magnetică se desenează în așa fel, ca densitatea lor să reprezinte valoarea modului inducției magnetice a câmpului magnetic: cu cât este mai mare modulul inducției magnetice, cu atât mai dese se desenează liniile. *Atrageți atenția! Liniile de inducție magnetică totdeauna sunt închise: câmpul magnetic — un câmp turbionar.*

Dacă pe o anumită porțiune liniile de inducție magnetică sunt paralele și așezate la aceeași distanță una de alta, așa un câmp magnetic este *uniform* (fig. 10.6).

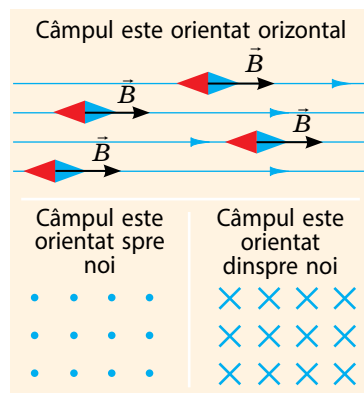


Fig. 10.6. Liniile inducției magnetice a câmpului magnetic uniform

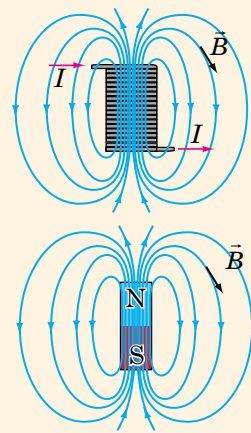
Câmpul magnetic într-o anumită porțiune al spațiului este **uniform**, dacă în fiecare punct al porțiunii *vectorii inducției magnetice sunt aceiași atât după modul, cât și după direcție*.

În caz general *câmpul magnetic este neuniform* — în diferite puncte ale lui vectorii inducției magnetice au valori și direcții diferite, de aceea liniile de inducție magnetică de obicei sunt curbilinii, iar densitatea lor este diferită.

Câmpul magnetic al solenoidului și al magnetului platbandă

Solenoid — o bobină cilindrică, lungimea căreia este mai mare decât diametrul. Configurațiile câmpurilor magnetice ale solenoidului și magnetului platbandă sunt identice.

- Și solenoidul și magnetul platbandă au *doi poli* — nord N și sud S. La poli câmpul magnetic este cel mai puternic, de aceea liniile de inducție magnetică sunt așezate cel mai dens.
- Liniile de inducție magnetică ale câmpului magnetic și a solenoidului și a magnetului platbandă *ies din polul nord și intră în polul sud*.
- În interiorul și a solenoidului, și a magnetului câmpul magnetic este *aproape uniform*: liniile de inducție magnetică sunt paralele și situate la aceleași distanțe.





Facem totalurile

• Câmpul magnetic — aceasta-i o formă de existență a materiei (componenta câmpului electromagnetic), care este creat de corpurile magnetizate, conductoarele parcurse de curent, câmpurile electrice variabile și corpurile și particulele mobile încărcate.

• Inducția magnetică \vec{B} — mărimea fizică vectorială, care caracterizează acțiunea de forță a câmpului magnetic și ca modul este egală cu raportul dintre forța maximă, cu care câmpul magnetic acționează asupra conductorului parcurs de curent care este situat în acest câmp și produsul intensității curentului în conductor și lungimea părții active a conductorului: $B = \frac{F_{A\max}}{Il}$. Unitatea de măsură a inducției magnetice în SI — tesla.

• Direcția vectorului inducției magnetice a câmpului magnetic a unui conductor cu curent și a unei bobine cu curent se determină cu ajutorul mâinii drepte. Ea coincide cu direcția, pe care o indică polul nord al acului magnetic.

• Liniile de inducție magnetică — linii convenționale orientate, în fiecare punct al cărora tangenta coincide cu linia, de-a lungul căreia este orientat vectorul inducției magnetice. Liniile de inducție magnetică totdeauna sunt închise — câmpul magnetic este turbionar.

Întrebări pentru control



1. Descrieți experiențele lui H. Oersted și A. Ampere.
2. Dați definiția câmpului magnetic. Ce proprietăți are câmpul magnetic?
3. Caracterizați inducția magnetică după planul caracteristicii mărimii fizice.
4. Cum se determină direcția vectorului inducției magnetice?
5. Ce se numesc linii de inducție magnetică?
6. Comparați câmpurile magnetice ale solenoidului și magnetului platbandă: ce este comun în ele?
7. Care câmp magnetic se numește uniform?



Exercițiul nr. 10

1. În fig. 1 sunt reprezentate liniile câmpului magnetic, creat de doi solenoidi.
 - 1) Ce direcție are vectorul inducției magnetice în punctul B? în punctul C?
 - 2) În care punct — A, B sau C — inducția magnetică este cea mai mare?
 - 3) Există oare în acest câmp magnetic porțiuni, în care câmpul este uniform?
 - 4) Determinați polii surselor de curent, la care sunt conectați solenoidii.
2. Cum se va amplasa acul magnetic după închiderea circuitului (fig. 2)?
3. Indicați direcția vectorului inducției magnetice în fiecare punct (fig. 3).

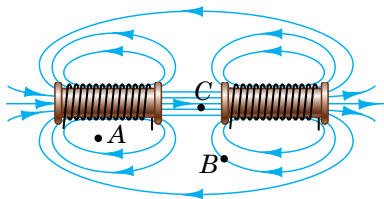


Fig. 1

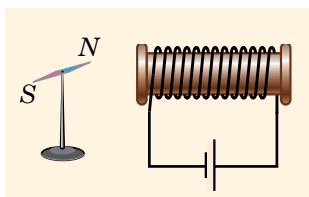


Fig. 2

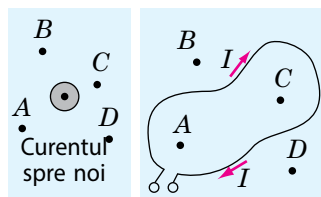


Fig. 3

4. După datele date în tabel compuneți probleme și rezolvați-le.

Lungimea conductorului	Intensitatea curentului în conductor	Modulul inducției magnetice	Forța lui Ampere maximă
2 cm		2,1 mT	0,3 mH
5 m	20 A	50 μ T	
10 cm	15 A		45 mH

5. Oare au liniile de inducție magnetică început/sfârșit? Oare ele se pot intersecta? atinge una de alta? avea întreruperi? Argumentați răspunsul.
6. Folosiți surse suplimentare de informație și aflați, cum învățații explică existența câmpului magnetic al Pământului (fig. 4).



Fig. 4

§ 11. FORȚA AMPERE



Dacă un cadru parcurs de curent va fi amplasat între polii magneților, cadrul se va roti și se va stabili perpendicular pe liniile de inducție magnetică ale câmpului, creat de magneți. Dar cum de impus cadrul să se rotească? Cum de creat un motor electric, care, apropo, a fost descoperit cu jumătate de secol mai devreme decât motorul cu ardere internă? De ce câmpul magnetic efectuează asupra cadrului cu curent o acțiune de orientare? Ne amintim și aflăm ceva nou.

1 Forța Ampere

În toamna anului 1820 A. *Ampere*, studiind acțiunea câmpului magnetic asupra conductoarelor de diferite forme și dimensiuni, a obținut formula pentru determinarea forței, ce acționează asupra unei porțiuni mici aparte de conductor (asupra elementului de curent). Astăzi această forță se numește *forța Ampere*.

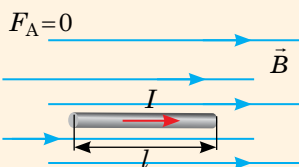
Forța Ampere — aceasta-i forța, cu care câmpul magnetic acționează asupra unui conductor parcurs de curent.

Dacă conductorul este rectiliniu, iar câmpul magnetic, în care el se află, uniform, atunci modulul forței Ampere se determină după formula:

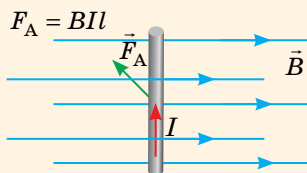
$$F_A = BIl \sin \alpha,$$

unde B — inducția magnetică a câmpului, în care se află conductorul; I — intensitatea curentului în conductor; l — lungimea părții active a conductorului; α — unghiul dintre vectorul inducției magnetice și direcția curentului (fig. 11.1).

• Conductorul este amplasat paralel liniilor de inducție magnetică — *câmpul magnetic nu acționează asupra conductorului:*



• Conductorul este amplasat perpendicular pe liniile de inducție magnetică — *forța Ampere este maximă:*



• În caz general forța Ampere se determină după formula:

$$F_A = BIl \sin \alpha$$

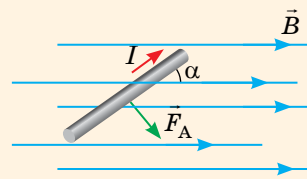


Fig.11.1. Dependența valorii forței Ampere de orientarea conductorului în câmpul magnetic

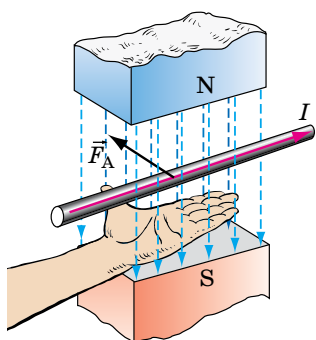


Fig. 11.2. Determinarea direcției forței Ampere după regula mâinii stângi

Direcția forței Ampere se determină după regula mâinii stângi (fig. 11.2):

■ Dacă așezăm mâna stângă astfel încât liniile inducției magnetice să intre în palmă, iar patru degete întinse să indice direcția curentului în conductor, atunci degetul mare dezdoit la 90° va indica direcția forței Ampere.

Atrageți atenția: dacă conductorul nu este rectiliniu și (sau) câmpul magnetic este neuniform, atunci se poate determina forțele Ampere, care acționează asupra unor porțiuni mici ale conductorului, iar apoi cu adunarea geometrică de calculat forța Ampere ce acționează asupra conductorului întreg.

2 Momentul forțelor Ampere, care acționează asupra unui cadru cu curent

Să luăm un cadru dreptunghiular ușor cu laturile a și b , care este compus dintr-o spiră de sârmă, și să-l amplasăm într-un câmp magnetic uniform astfel, ca el să se poată roti liber în jurul axei orizontale și să lăsăm să treacă curentul prin cadru (fig. 11.3, a). Legându-se, cadrul se va stabili perpendicular pe liniile inducției magnetice (fig. 11.3, b). Să aflăm momentul forțelor Ampere, ce acționează asupra cadrului la un moment oarecare de timp (fig. 11.3, c). Pentru aceasta vom determina direcția, modulul și brațul fiecăreia dintre forțele, ce acționează asupra laturilor cadrului. Vedem:

1) forțele Ampere \vec{F}_3 și \vec{F}_4 nu rotesc, dar numai alungesc cadrul — momentele acestor forțe sunt egale cu zero.

2) forțele Ampere \vec{F}_1 și \vec{F}_2 rotesc cadrul împotriva mișcării acului de ceasornic — creează *momentul de rotație* M : $M = M_1 + M_2 = F_1 d_1 + F_2 d_2$. Aici $F_1 = F_2 = B I a$, unde I — intensitatea curentului, a — lungimea laturii AK (și CD); $d_1 = d_2 = \frac{b}{2} \sin \alpha$, unde b — lungimea laturii KC , α — unghiul dintre vectorul inducției magnetice \vec{B} și normala la cadru n (fig. 11.3, d).

Deci: $M = B I a \frac{b}{2} \sin \alpha + B I a \frac{b}{2} \sin \alpha = B I S \sin \alpha$, unde $S = ab$ — aria cadrului.

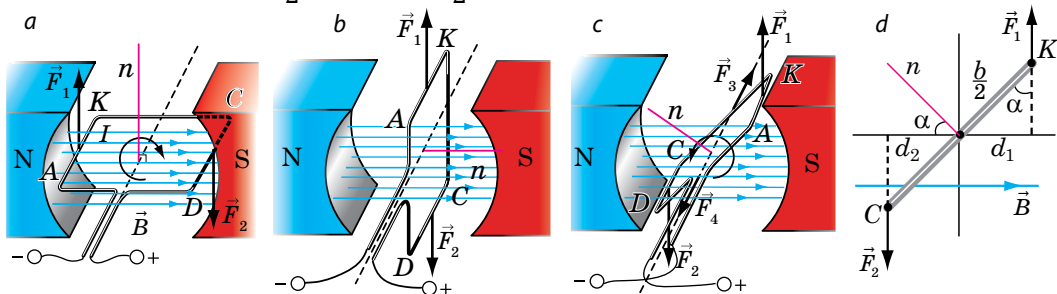


Fig. 11.3. Studiarea acțiunii câmpului magnetic asupra unui cadru cu curent: a — forțele Ampere \vec{F}_1 și \vec{F}_2 rotesc cadrul $AKCD$ după mersul acului ceasornic; b — în poziția echilibrului forțele Ampere nu rotesc cadrul, ci îl alungesc; c — forțele Ampere rotesc cadrul contra mersului acului ceasornic

Momentul forțelor Ampere, care acționează asupra unui contur plan închis situat în câmpul magnetic uniform este egal cu produsul dintre modulul inducției magnetice a câmpului, intensitatea curentului în contur, aria conturului și sinusul unghiului α dintre vectorul inducției magnetice și normala la suprafața conturului:

$$M = BIS \sin \alpha$$

Atrageți atenția:

1) dacă cadrul este situat paralel cu liniile de inducție magnetică ($\alpha=90^\circ$), atunci momentul de rotație este cel mai mare ($\sin \alpha = 1$): $M_{\max} = BIS$ (vezi fig. 11.3, a); dacă cadrul este situat perpendicular pe liniile inducției magnetice ($\alpha=0$), atunci momentul de rotație este egal cu zero ($\sin \alpha = 0$), — aceasta-i poziția echilibrului stabil (vezi fig. 11.3, a).

2) dacă cadrul conține N spire de sârmă, momentul de rotație se calculează după formula:

$$M = NBIS \sin \alpha$$

3 Unde se aplică forța Ampere

Rotirea cadrului cu curent în câmpul magnetic se aplică în **motoarele electrice** — dispozitive, în care energia electrică se transformă în mecanică.

Să revenim la fig. 11.3. Vedem, că forțele Ampere mai întâi rotesc cadrul într-o direcție (fig. 11.3, a), iar după trecerea poziției de echilibru — în direcție opusă (fig. 11.3, b). De aceea cadrul foarte repede se oprește în poziția de echilibru. Pentru ca cadrul să nu se oprească și să se rotească într-o direcție se aplică **colectorul** — dispozitiv, care schimbă automat direcția curentului în cadru (fig. 11.4). Semiinele colectoarelor se rotesc împreună cu cadrul, iar periile rămân nemișcate, de aceea după trecerea poziției de echilibru periile deja vor fi conectate cu alte semiinele.

E clar, că momentul de rotație, pe care-l creează forțele Ampere în cadrul reprezentat în fig. 11.4 este foarte mic, de aceea puterea unui asemenea «motor» este neînsemnată.

Amintim

• **Momentul forței M** «mărimea fizică, care caracterizează efectul de rotație al forței și este egal cu produsul dintre forța F și brațul forței d :

$$M = F \cdot d; [M] = \text{N} \cdot \text{m}.$$

• **Brațul forței d** — aceasta-i distanța de la axa de rotație până la linia de acțiune a forței.

• Momentul forței se consideră *pozitiv*, dacă forța rotește (sau tinde să rotească) corpul împotriva mersului acului de ceas, și *negativ*, dacă forța rotește corpul în direcția mersului acului de ceas.

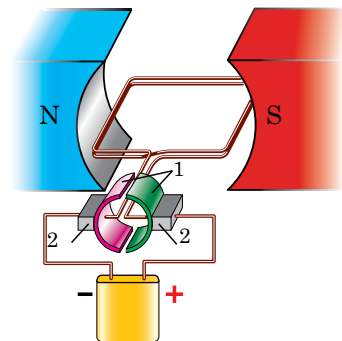
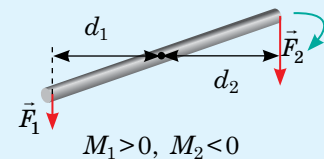


Fig. 11.4. Colectorul reprezintă două semiinele conductoare (1), la fiecare dintre care este unită o perie metalică (2); periile sunt legate cu polii sursei de curent

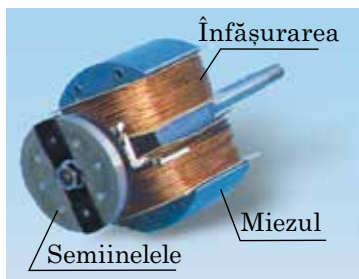


Fig. 11.5. Rotorul motorului (de la lat. *rotare* — a se roti), care conține o înfășurare

Pentru mărirea momentului de rotație ($M = NBIS \sin \alpha$) în motoarele electrice reale:

1) *înfășurarea* părții rotative a motorului — *rotorului* (de la lat. *rotare* — a se roti), — se fabrică dintr-o cantitate mare de spire de sârmă, care se introduc în canale speciale pe partea laterală a *miezului* — cilindrului, confecționat din plăci de oțel feromagnetic (fig. 11.5).

2) se folosesc câteva bobine, care se înfășoară pe un miez comun; colectorul unui asemenea motor are o serie de plăci de contact din cupru sub formă de arce fixate pe un tambur izolat și fiecare bobină este legată cu o pereche de plăci;

3) în loc de magnet permanent se folosește electromagnetul, care constituie un tot întreg cu corpul electromotorului și servește drept *stator* (de la lat. *stator* — cel ce stă imobil). Înfășurarea statorului este conectată la aceeași sursă de curent ca și înfășurarea rotorului.

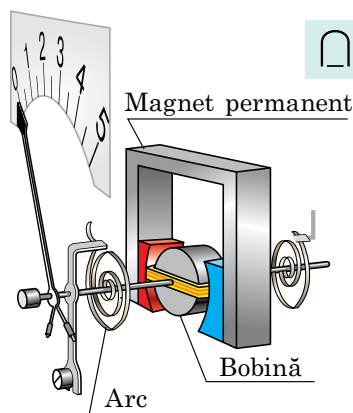
❓ Cum considerați voi, pe contul măririi cărei mărimi fizice se mărește momentul de rotație în fiecare caz?

Aparate electrice de măsurat din sistemele magneto-electrice și electrodinamice

În aceste aparate se aplică dependența momentului de rotație, creat de forțele Ampere de intensitatea curentului în cadru.

Când aparatul se introduce în circuit, în cadru începe să treacă curent și sub acțiunea forțelor Ampere cadrul se rotește în câmpul magnetic al magnetului. Odată cu cadrul se rotește acul și totodată se răsucesc arcurile spiralate. Când momentul forțelor Ampere se echilibrează cu momentul forțelor elastice, mișcarea acului încetează, însă el rămâne deviat. Cu cât este mai mare intensitatea curentului în cadru, cu atât mai mare este unghiul de deviere al acului.

În aparatele *sistemului electrodinamic* în loc de magnet se folosește un *electromagnet*.

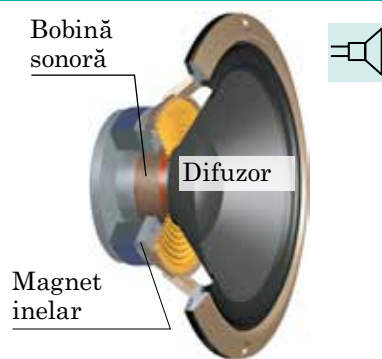


Mecanismul de măsurat al aparatelor din sistemul magneto-electric

Difuzorul electrodinamic

În difuzor forța Ampere, care acționează asupra spirelor bobinei, face ca bobina să intre în magnetul inelar. Când intensitatea curentului în bobină variază o dată cu frecvența sunetului, la fel variază și forța Ampere — bobina oscilează în ritmul variației intensității curentului. O dată cu bobina oscilează și difuzorul fixat de ea, care «împinge» aerul, creând o undă sonoră — difuzorul emite sunet.

Apropo, căștile răspândite azi — *acestea-s anume emițătoare electrodinamice de sunete*.



4 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Pentru a determina inducția magnetică a câmpului magnetic, creat de un magnet sub formă de potcoavă elevii au suspendat cu ajutorul sârmelor între poli unui magnet un conductor de aluminiu cu lungimea de 8 cm și cu masa de 6 g (vezi fig. 1). Când în conductor trecea curentul cu intensitatea de 3 A, conductorul se abătea sub unghiul de 45° de la verticală. Ce rezultat au obținut elevii? Considerați câmpul magnetic pe porțiunea, unde este situat conductorul uniform și vertical.

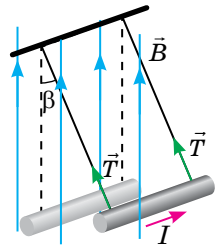


Fig. 1

Analiza problemei fizice. Conductorul se abate sub acțiunea forței Ampere, direcția căreia o vom determina după regula mâinii stângi. Conductorul este orizontal, iar câmpul magnetic este vertical, de aceea unghiul α dintre direcția curentului și vectorul inducției magnetice constituie 90°. Luând în vedere, că forțele care acționează asupra conductorului sunt compensate vom determina inducția magnetică a câmpului.

Se dă:

- $l = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
- $m = 6 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
- $I = 3 \text{ A}$
- $\beta = 45^\circ$
- $\alpha = 90^\circ$
- $g = 10 \text{ m/s}^2$

$B = ?$

Căutarea modelului matematic, rezolvarea. Asupra conductorului acționează patru forțe: forța de greutate, două forțe de tensiune a sârmelor și forța Ampere (fig. 2). Vom scrie ecuația legii a doua a lui Newton în formă vectorială și în proiecții pe axele de coordonate: $\vec{F}_A + m\vec{g} + 2\vec{T} = 0$;
 $\begin{cases} OX : F_A - 2T \sin\beta = 0, \\ OY : 2T \cos\beta - mg = 0, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2T \sin\beta = F_A, \\ 2T \cos\beta = mg. \end{cases}$
 Împărțind prima ecuație a sistemului la a doua, avem: $\frac{\sin\beta}{\cos\beta} = \frac{F_A}{mg}$, sau $\text{tg}\beta = \frac{F_A}{mg}$,
 unde $F_A = BIl \sin\alpha = BIl$, deoarece $\alpha = 90^\circ$.

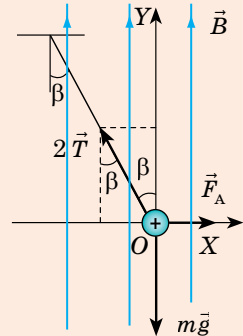


Fig. 2

Deci, $\text{tg}\beta = \frac{BIl}{mg} \Rightarrow B = \frac{mg \text{tg}\beta}{Il}$.

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$[B] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{\text{A} \cdot \text{m}} = \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} = \text{T}; B = \frac{6 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot \text{tg}45^\circ}{3 \cdot 8 \cdot 10^{-2}} = 0,25 \text{ (T)}.$

Răspuns: $B = 0,25 \text{ T}$.



Facem totalurile

- Forța, cu care câmpul magnetic acționează asupra unui conductor parcurs de curent se numește forța Ampere. Modulul forței Ampere se determină după formula: $F_A = BIl \sin\alpha$, direcția — după regula mâinii stângi.
- Asupra unui contur plan închis cu curentul I și aria S , situat într-un câmp magnetic uniform cu inducția B , forțele Ampere creează un moment de rotație: $M = BIS \sin\alpha$, unde α — unghiul dintre vectorul inducției magnetice și normala la suprafața conturului.
- Pe rotația cadrului cu curent într-un câmp magnetic se bazează acțiunea motoarelor electrice, pe întoarcere — acțiunea aparatelor din sistemele magnetoelectrice și electrodinamice; pe mișcarea de translație a cadrului — acțiunea difuzoarelor.



Întrebări pentru control

1. Dați definiția forței Ampere. După care formulă se calculează ea? Cum se determină direcția ei? 2. Deduceți formula pentru determinarea momentului forțelor Ampere, care acționează asupra cadrului cu curent din partea câmpului magnetic. În care poziție a cadrului momentul forțelor este egal cu zero? este maxim? 3. Descrieți principiul de lucru al motorului electric de curent continuu. 4. Descrieți construcția și principiul de lucru al aparatelor de măsurat din sistemul magnetoelectric; al difuzorului electrodinamic.



Exercițiul nr. 11

- Intensitatea curentului într-un conductor cu lungimea de 60 cm este de 1,2 A. Determinați valorile maximală și minimală ale forței Ampere, care acționează asupra conductorului în diferite poziții ale lui în câmpul magnetic uniform cu inducția de 15 mT.
- În fig. 1 sunt arătate câteva situații de interacțiune dintre câmpul magnetic și conductorul cu curent. Pentru fiecare situație formulați problema și rezolvați-o.

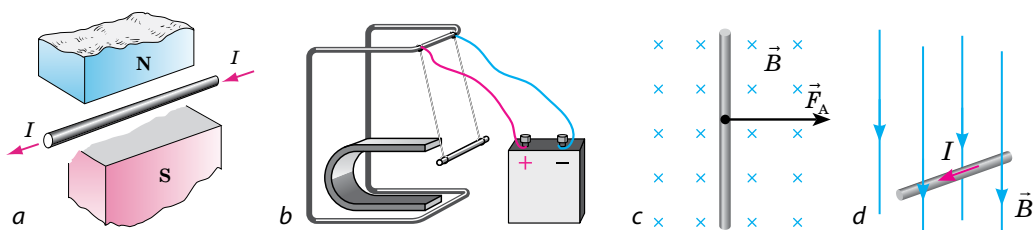


Fig. 1

- Aflați momentul forțelor Ampere, care acționează asupra cadrului situat într-un câmp magnetic uniform cu inducția de 0,6 T. Cadrul conține 50 de spire de sârmă și are aria de $20 \times 5,0$ (cm). Intensitatea curentului în cadru — 2,5 A, unghiul dintre vectorul inducției magnetice și planul cadrului — 60° .
- În fig. 2 sunt indicate direcția curentului în cadru și direcția, în care se rotește cadrul în câmpul magnetic al electromagnetului. Determinați poli sursii de curent, la care este conectată bobina electromagnetului.
- Un conductor orizontal cu masa de 50 g și lungimea de 20 cm este tras cu forța de 0,6 N pe două tije conductoare, conectate la o sursă de curent (fig. 3). Perpendicular pe conductor acționează un câmp magnetic uniform cu inducția de 0,4 T. Determinați, cu ce accelerație se mișcă conductorul, dacă intensitatea curentului în el este de 5 A, coeficientul de frecare — 0,2, iar câmpul magnetic este orientat: a) vertical în sus; b) vertical în jos; c) orizontal la stânga; d) orizontal la dreapta.

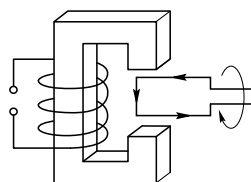


Fig. 2

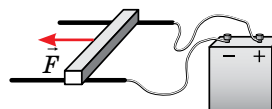


Fig. 3



Însărcinare experimentală

Găsiți acasă orice dispozitiv, care a fost defectat și conține un difuzor electrodinamic (receptorul aparatului de telefon staționar, receptorul radio cu un singur canal (radioreceptorul), căștile). Găsiți în acest dispozitiv difuzorul, examinați construcția lui, determinați principalele componente (magnetul, bobina, difuzorul).



§ 12. FORȚA LORENTZ



Voi toți ați auzit despre Marele colaidor Andronic, situat la hotarele Elveției și Franței la o adâncime de 100 m. Mare — de aceea că lungimea principalului inel al lui constituie circa 27 km; *colaidor* (de la engl. *collide* — a se ciocni) — de aceea că principala însărcinare a lui — de a accelera andronii (și anume protonii) și ionii până la viteze, care sunt apropiate de viteza luminii și de a efectua ciocnirile lor. Cum de accelerat particulele încărcate, de ce acceleratorul are formă de inel și pentru ce-i aici câmpul magnetic voi veți înțelege, făcând cunoștință cu materialul din acest paragraf.

1 Cum se determină forța Lorentz

Câmpul magnetic acționează asupra conductorului cu curent cu o anumită forță — forța Ampere: $F_A = BIl \sin \alpha$. Deoarece curentul electric — aceasta-i mișcarea orientată a particulelor încărcate, apariția forței Ampere este rezultatul acțiunii câmpului magnetic asupra particulelor încărcate aparte, care se mișcă în conductor.

Forța, cu care câmpul magnetic acționează asupra particulelor încărcate în mișcare se numește **forța Lorentz**.

Această forță este numită în cinstea fizicianului olandez *Hendrik Antoon Lorentz* (1853–1928), care a dedus formula pentru calculul ei. Pentru determinarea modului forței Lorentz (vezi fig. 12.1) vom afla forța Ampere, care-i revine fiecăreia dintre particulele încărcate, ce creează

curent în conductor: $F_L = \frac{F_A}{N} = \frac{BIl \sin \alpha}{N}$.

Cantitatea particulelor încărcate N este egală cu produsul dintre concentrația lor n și volumul conductorului V : $N = nV = nSl$. Intensitatea curentului în conductor poate fi determinată după formula $I = |q|nvS$ (vezi. § 5). Așadar,

$F_L = \frac{B \cdot |q|nvS \cdot l \cdot \sin \alpha}{nSl}$. După simplificare prin nSl obținem

formula pentru determinarea modului forței Lorentz:

$$F_L = |q|Bv \sin \alpha,$$

unde α — unghiul dintre direcția mișcării particulei și direcția inducției magnetice a câmpului magnetic.

Direcția forței Lorentz se determină după **regula mâinii stângi**: liniile inducției magnetice «le prindem» în palmă, patru degete întinse le vom orienta în direcția mișcării particulei încărcate pozitiv (sau în sens opus mișcării particulei încărcate negativ), și atunci degetul mare întins la 90° va indica direcția forței Lorentz (fig. 12.2).

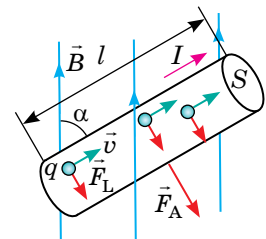


Fig. 12.1. Pentru determinarea modului forței Lorentz: q — sarcina particulei; \vec{v} — viteza de mișcare a particulei; \vec{F}_L — forța Lorentz; S — aria secțiunii transversale a conductorului; l — lungimea conductorului

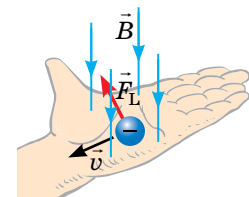
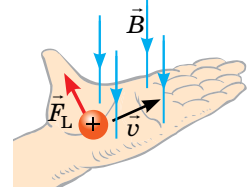


Fig. 12.2. Determinarea direcției forței Lorentz cu ajutorul regulii mâinii stângi

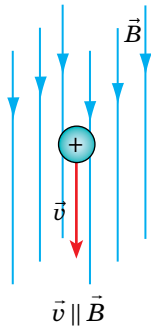
? Cum considerați voi, de ce patru degete întinse se orientează în direcția mișcării particulei încărcate pozitiv, dar în sens opus direcției mișcării încărcate negativ.

2 Cum se mișcă particulele încărcate sub acțiunea forței Lorentz

Forța Lorentz totdeauna este perpendiculară pe viteza mișcării particulei, de aceea ea nu efectuează lucru și nu modifică energia cinetică a particulei, — sub acțiunea forței Lorentz particula încărcată se mișcă uniform. Însă traiectoria mișcării particulei va fi diferită — în dependență de aceea, sub ce unghi particula a intrat în câmpul magnetic și dacă este câmpul magnetic uniform.

Cazurile posibile ale mișcării particulei încărcate într-un câmp magnetic uniform

1. Particula zboară în câmpul magnetic paralel cu liniile inducției magnetice.

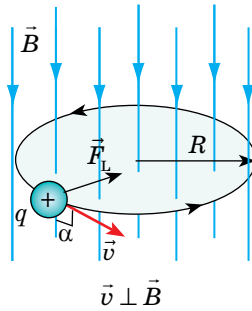


În acest caz unghiul α dintre direcția vectorului vitezei și vectorul inducției magnetice este egal cu zero (sau 180°). Deoarece $\sin \alpha = 0$, atunci și forța Lorentz:

$$F_L = |q|Bv \sin \alpha = 0.$$

Deci, câmpul magnetic nu acționează asupra particulei de aceea, dacă nu sunt alte forțe particula se va mișca rectiliniu uniform de-a lungul liniilor inducției magnetice.

2. Particula zboară în câmpul magnetic perpendicular pe liniile inducției magnetice.



În acest caz $\alpha = 90^\circ$ ($v \perp B$), de aceea $F_L = |q|Bv$, doar $\sin \alpha = 1$. Particula se mișcă uniform pe circumferință perpendicular pe liniile inducției magnetice, iar forța Lorentz îi comunică particulei accelerația centripetă \vec{a}_{cp} . După legea a doua a lui Newton: $F_L = ma_{cp}$, de aceea

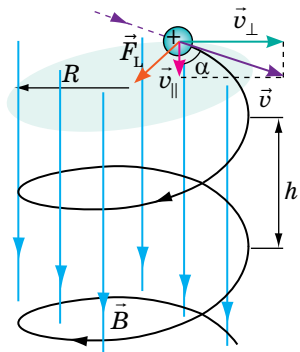
$$|q|Bv = m \frac{v^2}{R}.$$

De aici vom determina raza R a traiectoriei mișcării particulei și perioada ei de rotație T :

$$R = \frac{mv}{|q|B}; \quad T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}.$$

Perioada de rotație a particulei nu depinde de viteza mișcării ei și raza traiectoriei.

3. Particula zboară în câmpul magnetic sub un anumit unghi față de liniile inducției magnetice.



În acest caz viteza v a mișcării particulei poate fi descompusă în două componente:

prima componentă $v_{||}$ paralelă la liniile inducției magnetice, ea asigură mișcarea particulei de-a lungul acestor linii; a doua componentă v_{\perp} perpendiculară pe liniile inducției magnetice, și câmpul impune particula să se miște după o circumferință cu perioada

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}}.$$

Astfel, traiectoria mișcării particulei — o spirală, pasul h (distanța dintre spirele vecine) al căreia se determină de componenta $v_{||}$: $h = v_{||}T$, iar raza spirei — de componenta v_{\perp} :

$$R = \frac{mv_{\perp}}{|q|B}.$$

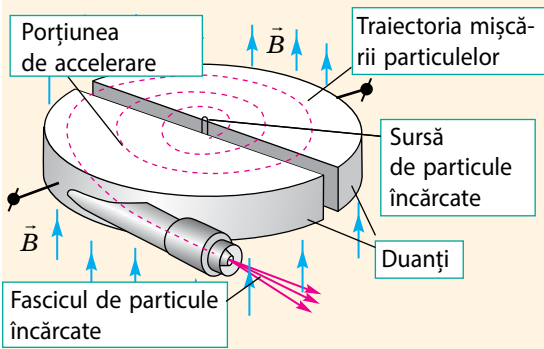


Fig. 12.3. Structura și principiul de funcționare al *ciclotronului* — acceleratorului de particule încărcate grele (protonilor, ionilor)

- Particulele, pe care le emite sursa, nimeresc în interiorul duanților și se mișcă după semicercuri sub acțiunea forței Lorentz.
- În intervalul dintre duanți particulele se accelerează de câmpul electric.
- Cu cât mai repede se mișcă particula, cu atât ea descrie o circumferință mai mare: $R = \frac{mv}{|q|B}$, însă timpul parcurgerii semicercului $t = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{|q|B}$ cu mărirea vitezei nu se schimbă.
- Dacă periodic se va schimba tensiunea pe duanți, atunci particulele cărora «le-a mers» să nimerescă în rezonanță de fiecare dată se vor accelera.

3 Unde se aplică forța Lorentz

Faptul că perioada de rotație a particulei încărcate într-un câmp magnetic uniform nu depinde nici de viteza mișcării ei, nici de raza traiectoriei se aplică în *ciclotroane* (fig. 12.3). Ciclotronul reprezintă în sine o cameră cu vid, situată între polii unui electromagnet puternic. În cameră sunt amplasați doi semicilindri goi din metal (duanți). La duanți se aplică o tensiune variabilă, care accelerează periodic particulele. Perioada variației tensiunii este egală cu perioada de rotație a particulei în câmpul magnetic.

? Faceți cunoștință cu principiul de lucru al ciclotronului (vezi fig. 12.3). Explicați, de ce particula încărcată este accelerată de fiecare dată, când se mișcă în intervalul dintre duanți.

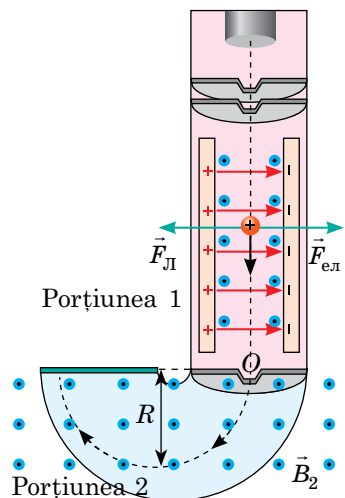
Pe mișcarea particulei încărcate în câmp magnetic uniform se bazează acțiunea *spectrometrelor de masă* — dispozitivelor, cu ajutorul cărora se poate măsura sarcina specifică a particulei $\frac{|q|}{m}$, iar apoi ea poate fi identificată (vezi mai jos exemplul de rezolvare al problemei).

4 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problema 1. Un fascicul îngust de particule încărcate pozitiv nimereste în *selectorul de viteze*, în care sunt create câmpuri electric și magnetic reciproc perpendiculare (vezi des. porțiunea 1). Intensitatea câmpului electric — 10 kN/C, inducția câmpului magnetic — 40 mT.

1) Cu ce viteză constantă trebuie să se miște particula, pentru a ieși din selector prin orificiul *O*? Pentru ce, după părerea voastră, este destinat selectorul de viteze?

2) Nimerind în câmpul magnetic al *spectrometrului de masă* cu inducția de 0,1 T, particula a descris o circumferință cu raza de 52 mm (porțiunea 2). Ce particulă este aceasta?



Analiza problemei fizice. 1) Pentru a ieși din selector prin orificiul O , particula trebuie să se miște pe porțiunea 1 rectiliniu uniform. Aceasta are loc, când forțele ce acționează asupra particulei vor fi compensate.

2) În camera spectrometrului de masă particula zboară perpendicular pe liniile inducției magnetice și se mișcă numai sub acțiunea forței Lorentz, de aceea traiectoria mișcării particulei este o circumferință, iar forța Lorentz îi comunică particulei o accelerație centripetă. Aplicând legea a doua a lui Newton ($F_L = ma_{cp}$) și formula pentru determinarea forței Lorentz, vom determina sarcina specifică a particulei și vom afla ce fel de particulă este aceasta (vezi Anexa 1).

Se dă:

$$E = 10 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

$$B_1 = 40 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$B_2 = 0,1 \text{ T}$$

$$R = 52 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$v = ?$$

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

Căutarea modelului matematic, rezolvarea.

1) Pe porțiunea 1 asupra particulei acționează două forțe: $F_{el} = qE$ — din partea câmpului electric; $F_L = qB_1v$ — din partea câmpului magnetic. Aceste forțe sunt compensate: $F_{el} = F_L$, de aceea $qE = qB_1v \Rightarrow v = \frac{E}{B_1}$.

Vedem, că prin orificiul O vor ieși numai acele particule, viteza cărora corespunde condiției $v = \frac{E}{B}$, restul vor fi abătute. Așadar, selectorul de viteze «alege» particulele de o anumită viteză.

2) Pe porțiunea 2: $F_L = ma_{cp}$, unde $F_L = qB_2v$; $a_{cp} = \frac{v^2}{R}$.

Așadar, $qB_2v = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{v}{B_2R}$, unde $\frac{q}{m}$ — sarcina specifică a particulei.

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[v] = \frac{\text{N}}{\text{C} \cdot \text{T}} = \frac{\text{N} \cdot \text{A} \cdot \text{m}}{\text{C} \cdot \text{N}} = \frac{\text{A} \cdot \text{m}}{\text{A} \cdot \text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad v = \frac{10 \cdot 10^3}{40 \cdot 10^{-3}} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ (m/s)}$$

$$\left[\frac{q}{m} \right] = \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{T} \cdot \text{m}} = \frac{\text{A} \cdot \text{m}}{\text{s} \cdot \text{N}} = \frac{\text{A} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2}{\text{s} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}} = \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{k} \cdot \text{g}} = \frac{\text{C}}{\text{kg}}, \quad \frac{q}{m} = \frac{2,5 \cdot 10^5}{0,1 \cdot 52 \cdot 10^{-3}} \approx 4,8 \cdot 10^7 \text{ (C/kg)}$$

După tabelul din Anexa 1 vedem, că aceasta-i particula α .

Răspuns: 1) $v = 250 \text{ km/s}$; 2) particula α .



Facem totalurile

- Forța, cu care câmpul magnetic acționează asupra particulei încărcate în mișcare se numește forța Lorentz. Modulul forței Lorentz se determină după formula $F_L = |q|Bv \sin \alpha$, direcția — după regula mâinii stângi.

- Într-un câmp magnetic uniform particula încărcată se mișcă uniform: dacă viteza inițială a mișcării particulei este orientată paralel cu liniile de inducție magnetică ale câmpului, atunci particula se mișcă rectiliniu uniform;

dacă perpendicular pe aceste linii — uniform pe circumferința cu raza $R = \frac{mv}{|q|B}$; dacă sub un unghi — se mișcă uniform după o spirală.

Întrebări pentru control



1. 1. Dați definiția forței Lorentz. După care formulă ea se determină? Deduceți această formulă. 2. Cum se determină direcția forței Lorentz, care acționează asupra particulei încărcate pozitiv? asupra particulei încărcate negativ? 3. Cum se va mișca particula încărcată în câmpul magnetic, dacă viteza

inițială a mișcării ei este orientată paralel cu liniile de inducție magnetică? perpendicular pe liniile de inducție magnetică? sub un unghi față de liniile de inducție magnetică? 4. Deduceți formulele pentru determinarea razei traiectoriei mișcării și perioadei de rotație a particulei încărcate în câmpul magnetic, dacă viteza mișcării ei este perpendiculară pe vectorul de inducție magnetică al câmpului. 5. Dați exemple de aplicare a forței Lorentz.



Exercițiul nr. 12

- În ciclotroane asupra particulei încărcate acționează și câmpul electric și câmpul magnetic. Care câmp «răspunde» de mărirea vitezei de mișcare a particulei? Care câmp «dirijează» cu mișcarea particulei pe circumferință?
- Determinați: direcția mișcării particulei (fig. 1); semnul sarcinii particulei (fig. 2); direcția câmpului magnetic, în care se mișcă particula (fig. 3).

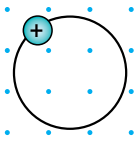


Fig. 1

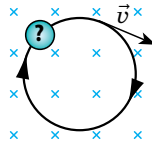


Fig. 2

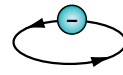


Fig. 3

- De ce două sarcini imobile de același semn întotdeauna se resping, iar aceleași sarcini în mișcare, accelerate până la viteze foarte mari pot atât să se respingă, cât și să se atragă?
- Într-un câmp magnetic uniform cu inducția de 5,6 mT intră un proton cu viteza de $3 \cdot 10^6$ m/s perpendicular pe liniile inducției magnetice ale câmpului. Determinați forța, care acționează asupra protonului și raza traiectoriei lui.
- Un electron își începe mișcarea sa din starea de repaus, trece diferența de potențial acceleratoare de 125 V și nimerește într-un câmp magnetic uniform cu inducția de 5,0 mT, unde se mișcă după o circumferință. Determinați raza acestei circumferințe.
- Un electron intră în zbor într-un câmp magnetic uniform sub un unghi de 60° față de liniile inducției magnetice și se mișcă după o spirală cu diametrul de 10 cm. Determinați viteza de mișcare a electronului, inducția magnetică a câmpului și pasul spiralei, dacă perioada de rotație a electronului este de 60 μ s.
- Începutul cosmonauticii s-a remarcat printr-un șir de descoperiri, una dintre care a fost descoperirea centurilor magnetice ale Pământului (fig. 4). Explicați, de ce câmpul magnetic al Pământului este «o capcană» pentru particulele încărcate — particulele parcă se înșurubează pe liniile magnetice ale planetei.

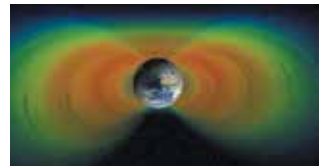


Fig. 4




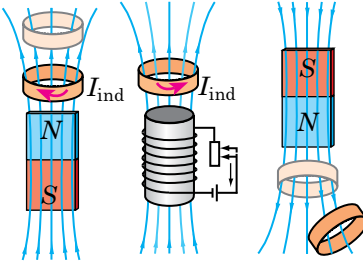


§ 13. EXPERIENȚELE LUI M. FARADAY. LEGEA INDUCȚIEI ELECTROMAGNETICE

În martie a. 1821 Michael Faraday a scris în zilnicul său: «De transformat magnetismul în electricitate». La 29 august a. 1831 după numeroase experimente savantul a atins scopul său — el a obținut curent electric cu ajutorul câmpului magnetic. Acest curent Faraday l-a numit *curent de inducție (indus)*. Să aflăm, în ce condiții câmpul magnetic poate provoca apariția curentului electric, cum de determinat intensitatea și direcția curentului de inducție.

1 Cum se poate «de transformat magnetismul în electricitate»

Să efectuăm câteva experimente care sunt variante actuale ale experimentelor lui M. Faraday.

Experimentele lui Faradei	
<p><i>Experimentul 1.</i> Să conectăm o bobină la galvanometru și să introducem în bobină un magnet permanent. În timpul mișcării magnetului acul galvanometrului se va abate — aceasta mărturisește despre prezența curentului. Cu cât mai repede se mișcă magnetul, cu atât mai mare este intensitatea curentului. Dacă oprim mișcarea magnetului, acul se va întoarce la poziția zero. Scoțând magnetul din bobină, vedem, că acul galvanometrului se abate în altă parte, ceea ce mărturisește despre schimbarea direcției curentului. Dacă se va lăsa magnetul nemișcat, dar se va mișca bobina, în bobină la fel va apare curent electric.</p>	
<p><i>Experimentul 2.</i> Să îmbrăcăm două bobine — A și B — pe un miez comun. Vom uni bobina B (electromagnetul) printr-un reostat la sursa de curent, bobina A o vom conecta-o la galvanometru. Dacă se va deschide sau închide circuitul bobinei B sau cu ajutorul reostatului se va schimba intensitatea curentului în bobina B, atunci în bobina A va lua naștere curent. Curentul în bobina A va apare atât în timpul măririi, cât și în timpul micșorării intensității curentului în bobina B, totodată sensul curentului va fi diferit.</p>	
<p><i>Experimentele 3, 4.</i> Să amplasăm bobina, conectată la galvanometru, în apropierea polului unui magnet puternic și să rotim rapid bobina — galvanometrul va indica apariția curentului electric. Curentul va apărea și în timpul variației ariei bobinei (aceasta este posibil, dacă bobina este înfășurată pe o carcasă din cauciuc).</p>	
<p>Analizând experimentele 1–4, se poate observa, că curentul de inducție apare într-un contur conductor închis (în cazul dat — în bobină) atunci, când se schimbă cantitatea liniilor de inducție magnetică ce străbat suprafața, limitată de contur.</p>	

2 Fluxul inducției magnetice

Cantitatea liniilor de inducție magnetică, ce străbat o anumită suprafață, caracterizează mărimea fizică, care se numește *fluxul inducției magnetice* sau *fluxul magnetic*. Să examinăm un contur plan închis, situat în câmpul magnetic. Normala n , dusă la suprafața, ce limitează conturul formează unghiul α cu vectorul inducției magnetice \vec{B} (fig. 13.1, a).

Fluxul inducției magnetice (fluxul magnetic) Φ — aceasta-i mărimea fizică, care este egală cu produsul dintre inducția magnetică B aria suprafeței S și cosinusul unghiului α între vectorul inducției magnetice și normala la suprafață:

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

Unitatea de măsură a fluxului magnetic în SI — **weberul** (numită în cinstea fizicianului german *W. Weber* (fig. 13.2)):

$$[\Phi] = 1 \text{ Wb (Wb)}.$$

1 weber — aceasta-i fluxul magnetic maximal, care este creat de un câmp magnetic cu inducția de 1 T printr-o suprafață cu aria de 1 metru pătrat:

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2.$$

Atrageți atenția!

- Fluxul magnetic va fi maximal, dacă suprafața este perpendiculară pe liniile inducției magnetice (fig. 13.1, b) și va fi egal cu zero, dacă suprafața este paralelă cu aceste linii (fig. 13.1, c).

- Dacă câmpul magnetic este neuniform și (sau) suprafața nu este plană, se pot afla fluxurile magnetice prin porțiuni mici ΔS de suprafață și prin suma lor algebrică se poate afla fluxul magnetic total (Fig. 13.1, d).

3 Legea inducției electromagnetice

Luând în considerație definiția fluxului magnetic, vom evidenția în experimentele lui Faraday câteva legături generale.

1. *Curentul electric se induce într-un contur conductor închis numai atunci, când se schimbă fluxul magnetic prin suprafața, mărginită de contur.*

2. *Cu cât mai repede se schimbă fluxul magnetic, cu atât mai mare este intensitatea curentului de inducție în contur.*

3. *Direcția curentului de inducție în contur depinde de aceea, dacă se mărește sau se micșorează fluxul magnetic prin suprafața, mărginită de contur.*

Însă de ce în contur în genere este curent, doar conturul nu este legat la o sursă de curent? Apariția curentului poate însemna numai una: în timpul variației fluxului magnetic apar *forțe străine (necoulombiene)*, care și «lucrează» în contur, deplasând în el sarcinile electrice.

Lucrul forțelor străine A_{st} de deplasare a unei sarcini pozitive unitare se numește **forță electromotoare de inducție (FEM de inducție) \mathcal{E}_i** :

$$\mathcal{E}_i = \frac{A_{st}}{q}$$

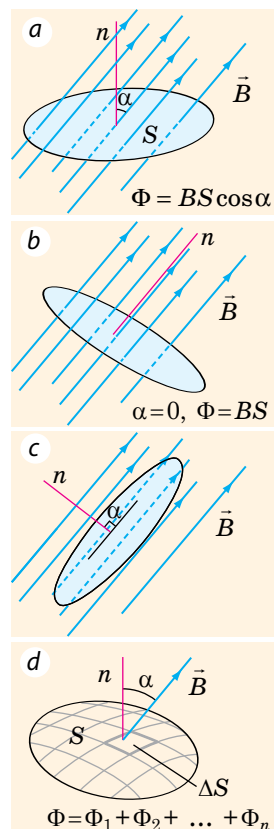


Fig. 13.1. Pentru determinarea fluxului magnetic



Fig. 13.2. Wilhelm Eduard Weber (1804–1891) — renumit fizician german. A descoperit teoria fenomenelor electromagnetice, a creat o mulțime de aparate electromagnetice de o precizie foarte înaltă

Atrageți atenția!

■ Dacă fluxul magnetic variază neuniform, trebuie de examinat variația lui într-un interval de timp foarte scurt $\Delta t \rightarrow 0$; în acest caz legea inducției electromagnetice obține forma:

$$\xi_i = -\Phi'(t)$$

■ Dacă conturul conține N spire de sârmă, atunci FEM de inducție este egală cu

$$\xi_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N \Phi'(t)$$

■ $\Phi = BS \cos \alpha$, de aceea:

• dacă se schimbă câmpul magnetic, în care este situat conturul, avem:

$$\xi_i = \frac{\Delta B}{\Delta t} S \cos \alpha = B' S \cos \alpha ;$$

• dacă se schimbă aria, mărginită de contur, avem:

$$\xi_i = B \frac{\Delta S}{\Delta t} \cos \alpha = BS' \cos \alpha ;$$

• dacă conturul se rotește în câmp magnetic, avem:

$$\xi_i = BS \frac{\Delta \cos \alpha}{\Delta t} = BS \cos' \alpha$$

Intensitatea curentului de inducție I_i în conturul cu rezistența R se determină după legea lui Ohm:

$$I_i = \frac{\xi_i}{R}.$$

Legea, care determină dependența FEM de inducție de viteza variației fluxului magnetic a fost stabilită pe cale experimentală de către M. Faraday.

Legea inducției electromagnetice:

■ Forța electromotoare de inducție este egală cu viteza variației fluxului magnetic, care străbate suprafața, mărginită de contur:

$$\xi_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Semnul «minus» reflectă *regula lui Lenz*.

4 Regula lui Lenz

Regula pentru determinarea direcției curentului de inducție a fost formulată de către fizicianul rus *Heinrich Lenz* (1804–1865). Această regulă îi poartă numele — **regula lui Lenz**: *curentul de inducție, care apare într-un contur conductor închis are un astfel de sens, încât fluxul magnetic produs de acest curent se opune variației fluxului magnetic, care a produs apariția curentului de inducție.*

Pentru a demonstra regula lui Lenz este comod de folosit dispozitivul construit de însuși Lenz. Dispozitivul reprezintă două inele (întreg și tăiat) din aluminiu, fixate pe un balansier, care se poate roti ușor în jurul axei verticale (fig. 13.3).

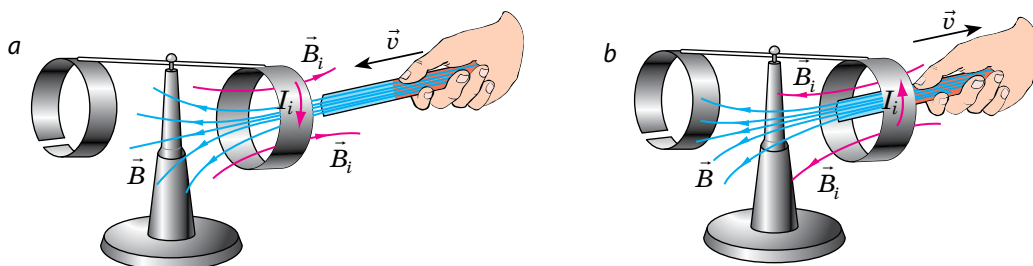
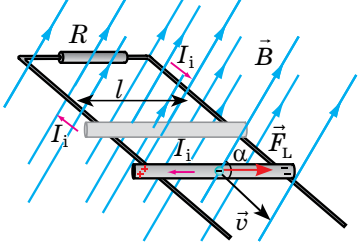
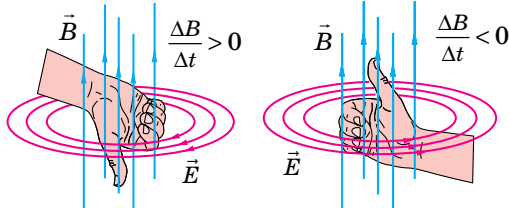


Fig. 13.3. «Inelele lui Lenz». Dacă magnetul se va apropia de inelul compact, atunci în inel va apărea curentul de inducție I_i . Acest curent va crea lângă inel câmpul magnetic \vec{B}_i , orientat în sens opus câmpului exterior \vec{B} , de aceea inelul se va respinge de la magnet (a). Dacă magnetul se va îndepărta de inelul compact, atunci inelul se va atrage de către magnet (b). Mișcând magnetul față de inelul tăiat, nici un efect nu se va observa

Regula lui Lenz are un conținut fizic profund — ea exprimă legea conservării energiei. Într-adevăr, pentru crearea curentului de inducție e nevoie de energie, de aceea trebuie să fie efectuat un lucru. În timpul apropierii magnetului de contur sau în timpul îndepărtării lui totdeauna apare o forță, care se opune mișcării. Pentru a învinge această opunere, se efectuează un lucru.

5 Care sunt cauzele apariției FEM de inducție

De unde se iau forțele străine, ce acționează asupra sarcinilor în conductor?

Cauzele apariției FEM de inducție	
Conductorul se mișcă în câmpul magnetic	Câmpul magnetic, în care este situat conductorul imobil, variază
<p>În acest caz asupra electronilor liberi, care se mișcă odată cu conductorul, acționează forța Lorentz: $F_L = q Bv\sin\alpha$. Sub acțiunea acestei forțe <i>electronii conform regulii mâinii stângi</i> se deplasează de-a lungul conductorului. În rezultat conductorul se polarizează: unul dintre capetele lui obține <i>sarcină negativă</i> (acolo «au venit» electronii), iar al doilea capăt — <i>pozitivă</i>.</p>  <p>Dacă acum de închis conductorul, atunci în circuit va apărea curent de inducție. <i>Sursă a curentului în circuit va fi conductorul mobil, iar forța străină, care efectuează lucrul în interiorul sursei — forța Lorentz</i>: $A_{cp} = F_L \cdot l = q Bv\sin\alpha \cdot l$. Deoarece $\xi_i = \frac{A_{cp}}{ q }$, avem formula pentru calculul FEM de inducție în conductorul mobil:</p> <p style="text-align: center;">$\xi_i = Bv\sin\alpha$</p> <p>Deci, în cazul conductorului mobil forțele exterioare au o natură magnetică.</p>	<p>În acest caz forțele străine au o natură electrică, doar <i>câmpul magnetic variabil totdeauna este însoțit de apariția câmpului electric turbionar</i>. Anume câmpul electric turbionar acționează asupra particulelor încărcate libere în conductor și le comunică o mișcare orientată, creând curent de inducție. Spre deosebire de câmpul electrostatic (câmp, creat de sarcinile electrice imobile) <i>câmpul electric turbionar are următoarele proprietăți</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liniile intensității câmpului electric turbionar sunt închise. Direcțiile acestor linii se pot <i>determina cu ajutorul mâinii drepte</i>: dacă inducția magnetică a câmpului, care este cauza creării câmpului turbionar se mărește, atunci orientăm degetul mare în sens opus direcției \vec{B}; dacă inducția magnetică a câmpului magnetic scade, atunci orientăm degetul mare în direcția lui \vec{B}.  <ul style="list-style-type: none"> • <i>Lucrul câmpului electric turbionar pe o traiectorie închisă de obicei nu este egal cu zero.</i>

Fenomenul apariției câmpului electric turbionar sau a polarizării electrice a conductorului în timpul variației câmpului magnetic sau în timpul mișcării conductorului în câmpul magnetic se numește **fenomenul inducției electromagnetice**.

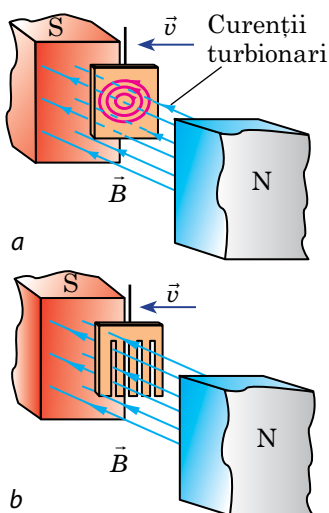


Fig. 13.4. În câmpul magnetic mișcarea oscilatorie a unei plăci compacte din cupru încetează repede (a); mișcarea pieptenuțului de cupru aproape că nu încetinește (b)



Fig. 13.5. Topirea inductivă a metalului

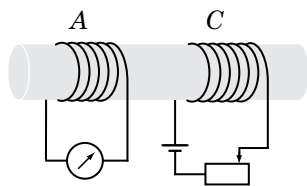


Fig. 1

6 Unde se aplică curenții Foucault

Dacă unei plăci compacte din cupru, suspendate între poli unui magnet de-i comunicat o mișcare oscilatorie, atunci această mișcare repede va înceta (fig. 13.4, a). Aceasta are loc din cauza excitației în placă a *curenților turbionari*, care (după regula lui Lenz) creează un câmp magnetic, ce împiedică mișcarea plăcii. E clar: cu cât este mai mare rezistența electrică a corpului, care oscilează, cu atât mai mică este forța acestor curenți (fig. 13.4, b).

Curenții turbionari au fost minuțios studiați de către fizicianul francez *Leon Foucault* (1819–1868) de aceea ei se numesc *curenți Foucault*.

Curenții Foucault — curenți de inducție turbionari, care apar în conductor în timpul variației fluxului magnetic prin suprafața conductorului.

Încetinirea oscilațiilor în urma apariției curenților Foucault se aplică pentru *amortizare* — stingerea forțată a oscilațiilor părților mobile ale galvanometrelor, seismografele etc.

Orice curent exercită o *acțiune termică*. Acțiune termică exercită și curenții Foucault: dacă o bucată masivă compactă de metal se va amplasa într-un câmp magnetic variabil, bucată se va încălzi. Acțiunea termică a curenților Foucault se aplică în cuptoarele de inducție pentru încălzirea și topirea metalelor (fig. 13.5). Metalul se introduce în interiorul bobinei, prin care trece curent alternativ de frecvență înaltă (500–800 Hz). Curentul alternativ provoacă apariția câmpului magnetic variabil, care la rândul său provoacă apariția în metal a curenților Foucault și încălzirea metalului.

Curenții Foucault în miezurile transformatoarelor, generatoarelor și motoarelor electrice provoacă încălzirea și aduc la pierderi esențiale de energie. Pentru a micșora curenții turbionari, rezistența acestor piese se mărește: ele se confecționează din plăci de oțel, despărțite prin straturi subțiri de dielectric, sau ferite (*feritele* — materialele, care amplifică mult câmpul magnetic, însă au o conductibilitate scăzută).

7 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problema 1. Bobinele A și C sunt plasate pe un miez comun (fig. 1). Determinați direcția curentului de inducție în bobina A în timpul deplasării cursorului reostatului la stânga.

Analiza problemei fizice.

1. Vom arăta direcția curentului I în bobina C (de la polul pozitiv al sursei de curent spre cel negativ) și cu ajutorul mâinii drepte vom determina direcția liniilor inducției magnetice \vec{B} a câmpului, creat de acest curent, adică direcția câmpului magnetic exterior pentru bobina A (fig. 2).

2. Cursorul reostatului se deplasează la stânga, de aceea rezistența reostatului se micșorează. Conform legii lui Ohm intensitatea curentului în circuitul bobinei C se mărește, de aceea se mărește și inducția magnetică a câmpului magnetic, creat de acest curent. Deoarece $B \uparrow$, atunci fluxul magnetic prin bobină de asemenea se mărește ($\Phi \uparrow$) ($R \downarrow \Rightarrow I \uparrow \Rightarrow B \uparrow \Rightarrow \Phi \uparrow$).

3. $\Phi \uparrow$, de aceea câmpul magnetic creat de curentul de inducție în bobina A , este orientat în sens opus câmpului magnetic exterior: $\vec{B}_i \uparrow \downarrow \vec{B}$.

4. Cu ajutorul mâinii drepte vom determina direcția curentului de inducție I_i în bobina A .

Răspuns: curentul de inducție în bobina A este orientat în așa fel, încât el trece pe peretele din față a bobinei în sus.

Problema 2. Cu ajutorul conductoarelor flexibile un conductor rectiliniu cu lungimea de 60 cm este conectat la o sursă de curent continuu, care are FEM de 12 V și rezistența interioară de 0,5 Ohm (fig. 3). Conductorul se mișcă cu viteza de 12,5 m/s într-un câmp magnetic uniform cu inducția de 1,6 T perpendicular pe liniile inducției magnetice. Determinați FEM de inducție și intensitatea curentului în conductor, dacă rezistența circuitului exterior — 2,5 Ohm.

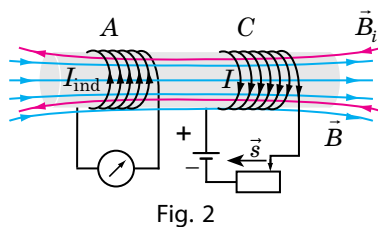


Fig. 2

Algoritmul determinării direcției curentului de inducție

1. Determinăm direcția liniilor inducției magnetice \vec{B} ale câmpului magnetic exterior.
2. Clarificăm, se mărește sau scade fluxul magnetic prin suprafața, mărginită de contur.
3. Determinăm direcția liniilor de inducție \vec{B}_i ale câmpului magnetic creat de curentului de inducție:
 $\vec{B}_i \uparrow \downarrow \vec{B}$, dacă fluxul magnetic se crește;
 $\vec{B}_i \uparrow \uparrow \vec{B}$, dacă fluxul magnetic se micșorează.
4. Folosind regula mâinii drepte, determinăm direcția curentului de inducție I_i .

Atrageți atenția: în cazul rezolvării problemelor inverse acțiunile, menționate în algoritm rămân aceleași, dar consecutivitatea lor se schimbă.

Se dă:
 $l=0,6$ m
 $\mathcal{E}_{\text{sur}}=12$ V
 $r=0,5$ Ohm
 $v=12,5$ m/s
 $T=1,6$ T
 $\alpha=90^\circ$
 $R=2,5$ Ohm
 ξ_i — ?
 I — ?

Rezolvarea. Conductorul se mișcă într-un câmp magnetic, de aceea asupra sarcinilor în conductor acționează forța Lorentz \vec{F}_L , direcția căreia o vom determina după regula mâinii drepte. Asupra sarcinilor în conductor de asemenea acționează forța \vec{F}_{el} din partea câmpului electric al sursei de curent. Ambele forțe «împing» sarcinile într-o direcție (vezi fig.3), de aceea FEM totală a circuitului $\mathcal{E} = \xi_i + \mathcal{E}_{\text{sur}}$.
 În conductorul în mișcare $\xi_i = Bvl \sin \alpha$.

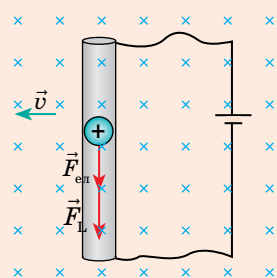


Fig. 3

După legea lui Ohm pentru un circuit închis: $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} \Rightarrow I = \frac{\xi_i + \xi_{sur}}{R+r}$.

Verificăm unitățile de măsură, determinăm valorile mărimilor căutate:

$$[\xi_i] = T \cdot \frac{m}{s} \cdot m = \frac{N \cdot m^2}{A \cdot m \cdot s} = \frac{N \cdot m}{A \cdot s} = \frac{J}{C} = V, \quad \xi_i = 1,6 \cdot 12,5 \cdot 0,6 = 12 \text{ (V)}.$$

$$[I] = \frac{V + V}{\text{Ohm} + \text{Ohm}} = \frac{V}{\text{Ohm}} = \frac{V \cdot A}{A} = A, \quad I = \frac{12+12}{2,5+0,5} = 8 \text{ (A)}.$$

Răspuns $\xi_i = 12 \text{ V}$; $I = 8 \text{ A}$.



Care va fi intensitatea curentului, dacă conductorul se va mișca în direcție opusă?



Facem totalurile

- Mărimea fizică, care este egală cu produsul dintre inducția magnetică B aria suprafeței S și cosinusul unghiului α dintre vectorul inducției magnetice și normala la suprafață se numește flux al inducției magnetice Φ : $\Phi = BS \cos \alpha$. Unitatea de măsură a fluxului magnetic în SI — weberul: $[\Phi] = 1 \text{ Wb (Wb)}$.

- Fenomenul apariției câmpului electric turbionar sau a polarizării electrice a conductorului în timpul variației câmpului magnetic sau în timpul mișcării conductorului în câmp magnetic se numește fenomenul inducției electromagnetice.

- Legea inducției electromagnetice: FEM de inducție este egală cu viteza variației fluxului magnetic prin suprafața, mărginită de contur: $\xi = -\Delta\Phi / \Delta t$. Dacă conductorul se mișcă în câmpul magnetic, atunci FEM de inducție poate fi calculată după formula: $\xi = Bv l \sin \alpha$.

- Curentul, care apare în urma fenomenului inducției electromagnetice se numește curent de inducție (indus). Curentul de inducție are așa o direcție, încât fluxul magnetic produs de acest curent se opune variației fluxului magnetic, care a produs apariția curentului de inducție.

Întrebări pentru control



1. Descrieți experiențele lui Faraday. Când apare curentul de inducție? **2.** Dați definiția fluxului magnetic. Care este unitatea lui de măsură în SI? **3.** Formulați legea inducției electromagnetice. Ce aspect va primi această lege, dacă conturul conține N spire de sârmă? **4.** Ce se determină după regula lui Lenz? **5.** De ce regula lui Lenz este consecință din legea conservării energiei? **6.** Dați definiția inducției electromagnetice. **7.** Care este natura FEM de inducție în următoarele cazuri: conductorul se mișcă în câmp magnetic; conductorul imobil se află într-un câmp magnetic variabil? **8.** Numiți principalele proprietăți ale câmpului electric turbionar? **9.** Unde, când și de ce apar curenții Foucault?



Exercițiul nr. 13

1. Un conductor cu lungimea de 20 cm se mișcă cu viteza de 2 m/s într-un câmp magnetic uniform cu inducția de 25 mT perpendicular pe liniile de inducție magnetică. Aflați FEM de inducție în conductor.

2. Conturul conductor mărginește suprafața cu aria de 0,1 m², are rezistența de 0,24 Ohm și este situat perpendicular pe liniile de inducție magnetică a câmpului magnetic. Inducția magnetică a câmpului s-a schimbat uniform de la 2 până la 4 mT în 0,1 s. Determinați: a) variația fluxului magnetic în acest timp; b) FEM de inducție în contur; c) intensitatea curentului de inducție în contur.

- De ce după lovitura fulgerului uneori ard siguranțele chiar și la un aparat electric deconectat de la priză?
- Pentru fiecare caz (fig. 1) determinați direcția curentului de inducție într-un inel conductor închis.
- Conturile *A* și *B* sunt îmbrăcate pe un miez comun (fig. 2). Determinați direcția curentului de inducție în conturul *A*, situat în câmpul magnetic al conturului *B*, în cazul: a) închiderii cheii; b) deschiderii cheii; c) deplasării cursorului reostatului spre dreapta.
- Într-o țevă verticală de cupru pe rând s-a dat drumul la o bară de aluminiu și un magnet striat. Care obiect va cădea mai mult timp? De ce?
- Unei sârme conductoare închise din cupru, care are lungimea de 2 m și aria secțiunii transversale de 17 mm², i s-a dat forma unui pătrat și s-a amplasat într-un câmp magnetic uniform cu inducția de 50 mT perpendicular pe liniile de inducție ale câmpului. Un om, luând pătratul de două vârfuri opuse, brusc (în 0,2 s) a îndreptat sârma fără a o tăia. Determinați intensitatea medie a curentului, care a apărut în sârmă.

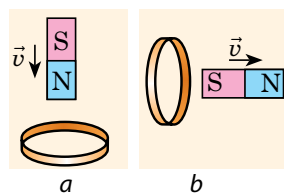


Fig. 1

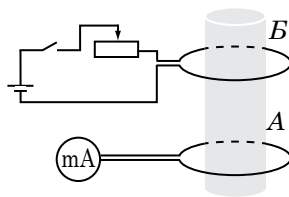


Fig. 2



Însărcinare experimentală

Găsiți în Internet video, care ilustrează, ce se va întâmpla, dacă într-o țevă din cupru se va arunca un magnet. Argumentați rezultatul experienței. Dacă e posibil, efectuați un experiment asemănător.



§ 14. AUTOINDUCȚIA. INDUCTANȚA. ENERGIA CÂMPULUI MAGNETIC

Câmpul electric turbionar apare în conductor în cazul variației câmpului magnetic, în care este situat conductorul. Un astfel de câmp poate fi creat și de curentul alternativ al însuși conductorului, pe când conductorul nu poate «deosebi» câmpul «său» de cel «străin». Să clarificăm ce efecte apar, dacă conductorul se află în câmpul magnetic variabil al «său».

1 În ce constă fenomenul autoinducției

Să montăm un circuit electric (fig. 14.1). După închiderea circuitului becul 1 se va aprinde practic imediat, iar becul 2 — cu o întârziere observabilă. Dacă întrerupem circuitul, atunci ambele becuri se sting simultan, însă în timpul întreruperii se mărește strălucirea lor pentru un moment. De ce se petrece astfel?

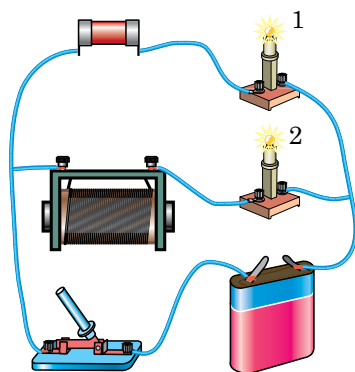
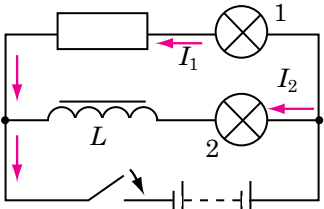
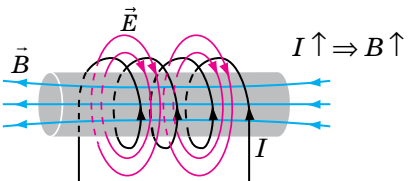
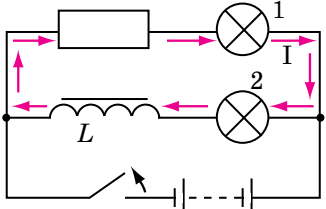
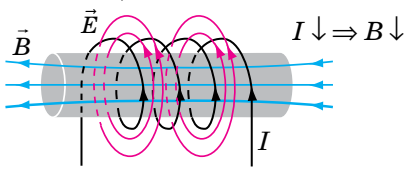


Fig. 14.1. Observarea fenomenului autoinducției

Circuitul se închide	Circuitul se deschide
<p>Imediat după închiderea circuitului intensitatea curentului I în circuit se mărește.</p>  <p>În interiorul bobinei apare câmp magnetic variabil, a cărui inducție magnetică \vec{B} tot se mărește. Câmpul magnetic variabil creează <i>câmp electric turbionar</i> \vec{E}, care în acest caz se va opune curentului în bobină (regula lui Lenz).</p>  <p>Anume de aceea intensitatea curentului în circuitul bobinei (și, deci, și în becul 2) va crește nu deodată, ci treptat. E clar, că în conductoarele, care conduc curentul la becul 1, de asemenea apare câmp electric turbionar, însă FEM creată de el este neînsemnată.</p>	<p>Imediat după deschiderea circuitului intensitatea curentului I în circuit se micșorează.</p>  <p>Inducția magnetică \vec{B} a câmpului, creat de curent de asemenea scade. Câmpul magnetic variabil creează <i>câmp electric turbionar</i> \vec{E}, care în acest caz va susține curentul în bobină (regula lui Lenz).</p>  <p>S-ar părea, că becul 2 trebuie să se stingă mai târziu, decât becul 1, dar ambele se sting în același timp! Chestia constă în aceea, că circuitul, care este compus din două becuri, bobină și rezistor, rămâne închis. Bobina în acest circuit servește drept sursă de curent: câmpul electric turbionar, ce apare în bobină susține curentul în circuit. Curentul continuă să treacă prin bobină și becul 2 în aceeași direcție, dar direcția curentului în becul 1 și rezistor se schimbă în opusă.</p>

Fenomenul apariției câmpului electric turbionar într-un conductor, prin care trece curentul electric variabil se numește **fenomenul autoinducției**.

2 FEM de autoinducție. Inductanța

Forța electromotoare de inducție, care se formează în conductor în consecința variației câmpului magnetic propriu se numește **forța electromotoare de autoinducție** \mathcal{E}_{is} .

Conform legii lui Faraday FEM de autoinducție este direct proporțională cu viteza variației fluxului magnetic: $\mathcal{E}_{is} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'(t)$. Deoarece fluxul magnetic este direct proporțional cu inducția magnetică a câmpului magnetic al curentului ($\Phi \sim B$), iar inducția magnetică este direct proporțională cu intensitatea curentului în conductor ($B \sim I$), atunci *fluxul magnetic este direct proporțional cu intensitatea curentului în conductor*: $\Phi = LI$ (L — coeficientul de proporționalitate). Respectiv variația fluxului magnetic este direct proporțională cu variația intensității curentului: $\Delta\Phi = L\Delta I$.

Deci, **legea autoinducției**:

Forța electromotoare de autoinducție este direct proporțională cu viteza variației intensității curentului în conductor:

$$\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \text{ sau } \mathcal{E}_{is} = -LI'(t)$$

Coeficientul de proporționalitate L se numește *inductanța conductorului*.

Inductanța L mărimea fizică, care caracterizează conductorul și numeric este egală cu FEM de autoinducție, ce apare în conductor în cazul variației intensității curentului cu 1 A în 1 s:

$$L = \frac{|\mathcal{E}_{is}|}{|\Delta I|/\Delta t}$$

*Unitatea de măsură a inductanței în SI — henry: $[L]=1 \text{ H (H)}$; numită în cinstea fizicianului american *Joseph Henry* (1797–1878), care în a. 1831 a descoperit fenomenul autoinducției.*

Inductanța conductorului este egală cu 1 H, dacă în el apare FEM de autoinducție de 1 V în cazul variației intensității curentului cu 1 A în 1 s:

$$1\text{H} = \frac{1\text{V}}{1\text{A/s}}$$

Inductanță mare au înfășurările generatoarelor și motoarelor, de aceea în timpul întreruperii circuitului, când intensitatea curentului variază rapid, FEM de autoinducție poate atinge o astfel de valoare, că se va petrece străpungerea izolării.

3 Cum se calculează energia câmpului magnetic

Să clarificăm, pe contul cărei energii câmpul electric turbionar susține curentul în circuit după deconectarea sursei de alimentare. Argumente simple aduc la concluzia: *energia a fost rezervată mai devreme în câmpul magnetic al conductorului (bobinei)*. Într-adevăr (vezi fig. 14.2):

1) sursa de curent începe să lucreze imediat după ce se închide circuitul, dar curentul în circuit nu atinge valoarea maximă momentan. Aceasta înseamnă, că în decursul intervalului de timp $0-t_1$ energia sursei se mai consumă pentru ceva;

Atrageți atenția!

Inductanța — aceasta-i caracteristica conductorului, de aceea ea nu depinde nici de intensitatea curentului în conductor, nici de FEM de autoinducție, ce apare în conductor în urma variației curentului.

Inductanța depinde:

- de proprietățile magnetice ale mediului, în care este situat conductorul;
- de dimensiunile și forma conductorului (astfel, inductanța conductorului rectiliniu este cu mult mai mică, decât inductanța aceluiași conductor înfășurat pe un creion);
- de prezența și forma miezului.

De exemplu, inductanța solenoidului se calculează după formula:

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l},$$

unde μ — permeabilitatea magnetică a materialului, din care este confecționat miezul (vezi § 15); μ_0 — constanta magnetică; N — numărul de spire în solenoid; l și S — corespunzător lungimea și aria secțiunii transversale a solenoidului.

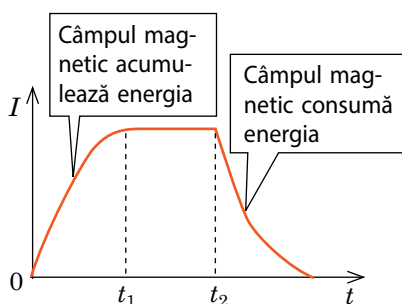


Fig. 14.2. Graficul dependenței intensității curentului în circuitul bobinei de timp: $t=0$ — momentul închiderii circuitului; $t=t_2$ — momentul deschiderii circuitului

Atrageți atenția!

Inductanța este asemănătoare cu masa în mecanică.

• Pentru a mișca un corp (a-i comunica o viteză) trebuie de efectuat un lucru:

$$A = E_c = \frac{mv^2}{2};$$

cu cât este mai mare masa corpului, cu atât trebuie de efectuat un lucru mai mare; în timpul frânării corpul singur efectuează un lucru.

• Analogic, pentru crearea curentului trebuie de efectuat un lucru împotriva forțelor câmpului turbionar:

$$A = W_M = \frac{LI^2}{2};$$

cu cât este mai mare inductanța conductorului, cu atât trebuie de efectuat un lucru mai mare; în timpul micșorării intensității curentului câmpul electric turbionar singur efectuează un lucru.

2) în decursul intervalului de timp $0-t_1$ lângă bobină se crează un câmp magnetic destul de puternic și în afară de aceasta nici o schimbare nu are loc. Adică energia se consumă anume pentru crearea câmpului magnetic.

Evident: cu cât mai mare intensitate a atins curentul în bobină (în conductor), cu atât mai mare va fi energia rezervată. Energia câmpului magnetic va fi mai mare în cazul inductanței L mai mari a bobinei, doar în acest caz curentul va atinge valoarea maximă mai lent. Calculele precise cu aplicarea integralului dau așa o **formulă pentru determinarea energiei (W_M) a câmpului magnetic:**

$$W_M = \frac{LI^2}{2}$$

Energia câmpului magnetic a conductorului parcurs de curent este egală cu semiprodusul dintre inductanța conductorului și pătratul intensității curentului în conductor.

4 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. O bobină supraconductoare cu inductanța de 5,0 H se conectează la o sursă de curent cu FEM de 20 V și cu o rezistență internă neglijabil de mică. Considerând, că intensitatea

curentului în bobină crește uniform, determinați timpul în care intensitatea curentului va atinge 10 A.

Se dă:

$$R = 0$$

$$L = 5,0 \text{ H}$$

$$I_0 = 0$$

$$\mathcal{E}_{\text{sur}} = 20 \text{ V}$$

$$r = 0$$

$$I = 10 \text{ A}$$

$$t = ?$$

Căutarea modelului matematic, rezolvarea.

Intensitatea curentului în bobină crește treptat în urma fenomenului autoinducției.

Pentru rezolvarea problemei ne vom folosi de legea lui Ohm pentru

un circuit închis: $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$, sau $I(R+r) = \mathcal{E}$. Aici \mathcal{E} — FEM totală a circuitului, care în acest caz este compusă din FEM a sursei și

FEM de autoinducție: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{sur}} + \mathcal{E}_{\text{is}}$, unde $\mathcal{E}_{\text{is}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$.

$$\text{Avem: } I(R+r) = \mathcal{E}_{\text{sur}} - L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

$(R+r) = 0$, de aceea $\mathcal{E}_{\text{sur}} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$, de unde $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\mathcal{E}_{\text{sur}}}{L}$, unde $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ — viteza variației intensității curentului.

Curentul în bobină variază uniform, de aceea timpul, în care el atinge valoarea de 10 A, este egal cu: $t = \frac{I}{\Delta I / \Delta t} = \frac{I}{\mathcal{E}_{\text{sur}} / L} = \frac{IL}{\mathcal{E}_{\text{sur}}}$.

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[t] = \frac{\text{A} \cdot \text{H}}{\text{V}} \stackrel{\text{C}}{=} \frac{\text{A} \cdot \text{V}}{\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V}} = \text{s}; \quad t = \frac{10 \cdot 5,0}{20} = 2,5 \text{ (s)}. \quad \text{Răspuns: } t = 2,5 \text{ s.}$$



Facem totalurile

- Fenomenul apariției câmpului electric turbionar într-un conductor, prin care trece curentul electric variabil se numește fenomen de autoinducție.
- Forța electromotoare de inducție, care se formează în conductor în consecința variației câmpului magnetic propriu se numește forța electromotoare de autoinducție. Forța electromotoare de autoinducție este direct proporțională cu viteza variației intensității curentului în conductor: $\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$; $\mathcal{E}_{is} = -LI'(t)$.
- Mărimea fizică, care caracterizează conductorul și numeric este egală cu FEM de autoinducție, ce apare în conductor în cazul variației intensității curentului cu 1 A în 1 s se numește inductanță a conductorului: $L = \frac{|\mathcal{E}_{is}|}{|\Delta I|/\Delta t}$. Unitatea de măsură a inductanței în SI — henry (H).
- Energia câmpului magnetic a conductorului parcurs de curent este egală cu semiprodusul dintre inductanța conductorului și pătratul intensității curentului în conductor: $W_M = \frac{LI^2}{2}$.



Întrebări pentru control

1. Descrieți experimentul, care demonstrează că după închiderea circuitului, care conține o bobină de inductanță, curentul în circuit crește treptat. De ce este condiționat acest fenomen?
2. Dați definiția autoinducției.
3. Formulați legea autoinducției.
4. Dați definiția inductanței. Numiți unitatea ei în SI.
5. Demonstrați, că câmpul magnetic are energie. După ce formulă ea se calculează?
6. Faceți analogia între masă și inductanță.



Exercițiul nr. 14

1. Cheile în circuit (fig. 1) se închid concomitent. Oare în același moment se vor aprinde becurile 1 și 2? Dacă nu, atunci care bec se va aprinde mai repede? Oare concomitent se vor stinge becurile 1 și 2 după închiderea concomitentă a cheilor?
2. În 0,1 s intensitatea curentului în bobină crește uniform de la 0 până la 1,5 A. Care este inductanța bobinei, dacă FEM de autoinducție în ea este de 2 V?
3. De ce în momentul deschiderii circuitului (vezi fig. 14.1) strălucirea becurilor pentru o clipă crește?
4. De ce pentru întreruperea circuitului cu o inductanță mare nu se aplică întrerupătorul cu pârghie, dar se scade treptat intensitatea curentului, folosind reostatul?
5. În urma micșorării intensității curentului în bobină de la 10 până la 4 A energia câmpului magnetic al ei s-a micșorat cu 16 J. Care este inductanța bobinei?
6. Un inel conductor cu raza de 2 cm este situat perpendicular pe liniile câmpului magnetic al unui electromagnet. Inducția magnetică a câmpului în interiorul inelului este de 0,32 T. Inelul a fost trecut în stare supraconductoare. Determinați inductanța inelului, dacă după întreruperea electromagnetului în inel a apărut un curent cu intensitatea de 12 A.
7. Pe fenomenul autoinducției se bazează acțiunea multor dispozitive electrice. Aflați informații despre asemenea dispozitive. Pregătiți prezentări scurte despre aplicarea lor, îmbinându-vă în grupuri.

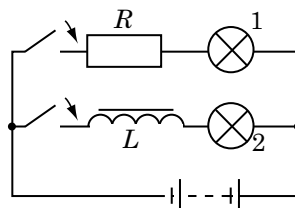


Fig. 1

§ 15. PROPRIETĂȚILE MAGNETICE ALE SUBSTANȚELOR. DIA-, PARA-, ȘI FEROMAGNETICII

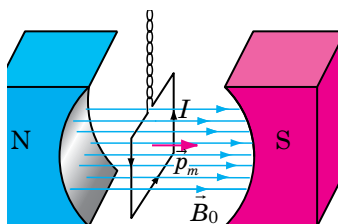


Fig. 15.1. Orientarea cadrului cu curent în câmpul magnetic al magnetului permanent

Amintim

Mărimea fizică, care arată de câte ori intensitatea câmpului electric \vec{E} în substanță este mai slabă decât intensitatea câmpului electric \vec{E}_0 în vid se numește **permitivitate dielectrică a mediului** ϵ :

$$\epsilon = \frac{E_0}{E}$$

Permitivitatea dielectrică a mediului totdeauna este mai mare decât unitatea. Astfel, apa slăbește câmpul electric de 81 de ori ($\epsilon=81$), petrolul lampant — de 2,7 ori, mica de 5–7 ori.

Dacă un cadru mic cu curent va fi situat într-un câmp magnetic, atunci cadrul se va stabili perpendicular pe liniile de inducție magnetică a câmpului (fig. 15.1), comportându-se la fel ca și acul magnetic. Însă de ce magnetul permanent creează câmp magnetic? Fondatorul teoriei magnetismului A. Ampere considera, că aceasta se explică prin curenții electrici închiși în interiorul magnetului. Oare așa este?

1 Influența mediului supra câmpului magnetic

Dacă orice corp se va amplasa într-un câmp electric exterior, sub influența acestui câmp în interiorul corpului va avea loc redistribuirea sarcinilor electrice — în corp se va forma un câmp electric propriu, orientat în sens opus celui exterior. Anume din această cauză *câmpul electric în substanță totdeauna este mai slab, decât câmpul electric în vid.*

Mediul exercită o influență și asupra câmpului magnetic: orice substanță amplasată într-un câmp magnetic exterior se magnetizează, creând un câmp magnetic propriu, care în unele substanțe este orientat la fel ca și în câmpul magnetic exterior, iar în altele — în sens opus câmpului exterior. Deci, *substanțele pot atât să amplifice, cât și să slăbească câmpul magnetic exterior.*

Mărimea fizică, care caracterizează proprietățile magnetice ale mediului și este egală cu raportul dintre inducția magnetică B a câmpului magnetic în mediu și inducția magnetică B_0 a câmpului magnetic în vid, se numește **permeabilitate magnetică relativă a mediului** μ :

$$\mu = \frac{B}{B_0}$$

2 De ce diferite substanțe se magnetizează în mod diferit

Una dintre principalele proprietăți ale particulelor, din care este compus atomul — prezența în ele a *câmpului magnetic propriu*. Acest câmp caracterizează mărimea fizică, care se numește *moment magnetic propriu* (după analogie cu momentul magnetic al conturului cu curent).

Pentru un contur plan cu curent **momentul magnetic** \vec{p}_m — aceasta-i mărimea fizică vectorială, direcția căreia se determină după regula mâinii drepte (vezi § 10; vezi fig. 15.1), iar modulul este egal cu produsul dintre intensitatea curentului I în contur și aria S , mărginită de contur:

$$p_m = IS$$

Spre deosebire de momentul magnetic al conturului *momentele proprii* \vec{p}_m ale particulelor nu sunt condiționate de prezența curentului, dar sunt caracteristică a particulei (asemănător cu masa și sarcina electronului). Moment magnetic maximal îl are electronul, momentele magnetice ale protonului și neutronului sunt aproximativ de 1000 de ori mai mici. Momentele magnetice proprii ale particulelor se adună și formează *momentul magnetic propriu al atomului și moleculei*. Momentele magnetice ale atomilor și moleculelor, la rândul său, formează câmpul magnetic în interiorul substanței. Amplasarea și compoziția atomilor și moleculelor la diferite substanțe este diferită, de aceea substanțele au diferite proprietăți magnetice. După valoarea permeabilității magnetice relative se deosebesc substanțe *magnetice slabe și puternice*.

3 Substanțele magnetice slabe

Substanțele magnetice slabe, magnetizându-se creează un *câmp magnetic propriu slab*, care deodată dispare, dacă substanța este scoasă din câmpul magnetic exterior. Permeabilitatea magnetică relativă a substanțelor magnetice slabe diferă puțin de unitate: $\mu \approx 1$. La substanțele magnetice slabe aparțin *diamagneticii și paramagneticii*.

Diamagneticii (din greacă *dia* — diferență) se magnetizează, creând un câmp magnetic slab, care este orientat în sens opus celui exterior (fig. 15.3).

La diamagnetici aparțin gazele inerte (heliul, neonul etc.), multe metale (aurul, cuprul, mercurul, argintul), bismutul, apa, acetona, sarea de bucătărie și altele.

Atomii și moleculele substanțelor *diamagnetice nu au momente magnetice proprii*. Magnetizarea diamagneticilor se explică prin momentele magnetice induse (de inducție), care se formează în atomi în timpul nimeririi diamagneticilor într-un câmp magnetic exterior. Momentele magnetice induse totdeauna sunt orientate în sens opus inducției magnetice a câmpului magnetic exterior: $\vec{p}_m \uparrow \downarrow \vec{B}_0$, anume din această cauză diamagneticii au așa proprietăți magnetice.

- Diamagneticii slăbesc puțin câmpul magnetic exterior: inducția magnetică a câmpului magnetic în interiorul diamagneticului (B_d) este puțin mai mică decât inducția magnetică a câmpului magnetic exterior (B_0):

$$B_d \lesssim B_0; \mu_d \lesssim 1; 0,99983 < \mu < 1$$

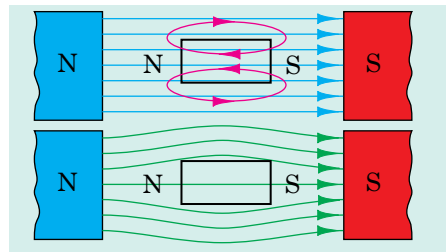


Fig. 15.3. Model de diamagnetic în câmpul magnetic exterior: liniile albastre — liniile magnetice ale câmpului magnetic exterior; liniile roșii — liniile câmpului magnetic create de model; liniile verzi — liniile câmpului magnetic rezultat

Levitația diamagnetică

Dacă o tablă din carbon pirolitic, care este un diamagnetic se va amplasa între polii unor magneți puternici de neodim, atunci tabla, respingându-se din câmpul magnetic va levita în aer.



În a. 2000 fizicienii britanici *Michael Berry* și *Andre Geim* au primit premiul Ig Nobel în fizică pentru aceea, că au făcut să leviteze o broască într-un câmp magnetic foarte puternic ($B \sim 16$ T).

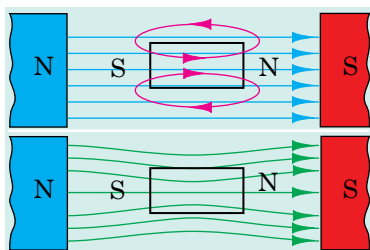


Fig. 15.4. Model de paramagnetic în câmpul magnetic exterior: *liniile albastre* — liniile magnetice ale câmpului magnetic exterior; *liniile roșii* — liniile câmpului magnetic creat de model; *liniile verzi* — liniile câmpului magnetic rezultat

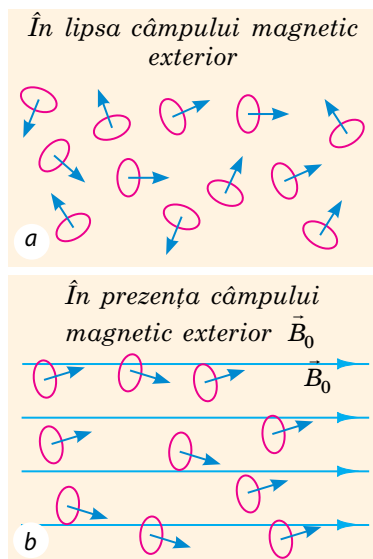


Fig. 15.5. Orientarea momentelor magnetice a moleculelor unui gaz paramagnetic:
a — în lipsa câmpului magnetic exterior momentele magnetice proprii ale moleculelor paramagneticului sunt orientate haotic;
b — în prezența câmpului magnetic exterior momentele magnetice proprii ale moleculelor paramagneticului în cea mai mare parte sunt orientate în direcția liniilor de inducție a câmpului magnetic exterior

- Substanța diamagnetică este respinsă din câmpul magnetic. E interesant, că omul în câmpul magnetic se comportă ca și un diamagnetic, deoarece el este compus în mediu 70% din apă.

- Permeabilitatea magnetică relativă a diamagneticilor nu depinde de temperatură.

? De ce poate fi așa, că componenții atomilor au momente magnetice proprii, dar însuși atomul nu are moment magnetic?

Atrageți atenția: apariția câmpului magnetic provoacă apariția momentelor magnetice induse în atomii oricăror substanțe; momentele magnetice induse sunt cu mult mai mici decât momentele magnetice proprii ale atomilor.

Paramagneticii (din greacă *para* — alături) *se magnetizează, creând un câmp magnetic slab orientat în aceeași direcție ca și câmpul magnetic exterior* (fig. 15.4).

La paramagnetici aparțin oxigenul, aerul, platina, aluminiul, ebonita, wolframul, magneziul, litiul și altele.

Atomii (sau moleculele) substanțelor paramagnetice au momente magnetice proprii, care în lipsa câmpului magnetic exterior sunt orientate haotic (fig. 15.5, *a*). Dacă paramagneticul va fi situat într-un câmp magnetic, particulele lui încep să se orienteze astfel, încât momentele magnetice proprii ale lor se orientează în direcția câmpului magnetic exterior (fig. 15.5, *b*), analogic cu aceea cum se orientează în câmp electric moleculele dielectricului polar. În urma acestei orientări *paramagneticii au următoarele proprietăți magnetice.*

Paramagneticii amplifică puțin câmpul magnetic exterior:

$$B_p \geq B_0; \mu_p \geq 1; 1 < \mu < 1,0003$$

- Dacă substanța paramagnetică de o situat într-un câmp magnetic, atunci ea va fi atrasă în el, adică se va mișca în direcția măririi inducției magnetice.

- Permeabilitatea magnetică relativă a paramagneticilor scade odată cu mărirea temperaturii, deoarece crește viteza mișcării termice a atomilor (sau moleculelor) și orientarea lor se dereglează parțial.

4 Proprietățile magnetice ale feromagneticeilor

Feromagneticii (din latină *ferrum* — fier) — substanțele sau materialele, care *magnetizându-se creează un câmp magnetic puternic, orientat în aceeași direcție ca și câmpul magnetic exterior* (fig. 15.6); feromagneticii rămân magnetizați și în cazul lipsei câmpului magnetic exterior.

La feromagneticii aparține un grup mic de substanțe: fierul, nichelul, cobaltul, metale din pământuri rare și un șir de aliaje.

Ionii substanțelor feromagnetice au momente magnetice proprii. Orice corp feromagnetic este compus din **domenii** — porțiuni macroscopice cu dimensiunile liniare de 1–10 μm, în care momentele magnetice proprii ale ionilor vecini sunt paralele, și deci domeniile posedă magnetizare proprie. În lipsa câmpului magnetic exterior momentele magnetice ale domeniilor aparte sunt orientate haotic, de aceea probele de material feromagnetic de obicei sunt demagnetizate (fig. 15.7, a).

Când moștra feromagnetică se amplasează într-un câmp magnetic exterior, atunci domeniile, momentele magnetice ale cărora sunt orientate în direcția acestui câmp se măresc pe contul micșorării domeniilor cu o orientare diferită a momentelor magnetice; de asemenea are loc rotația parțială a momentului magnetic în fiecare domeniu. Aceste procese duc la magnetizarea mostrei (fig. 15.7, b). Structura din domenii cauzează următoarele *proprietăți magnetice ale feromagneticeilor*.

- Inducția magnetică a câmpului magnetic în interiorul feromagneticului este de sute și mii de ori mai mare decât inducția magnetică a câmpului magnetic exterior, adică a câmpului care a cauzat magnetizarea: $B_F \gg B_0$, $\mu_F \gg 1$.

- Feromagneticii, la fel ca și paramagneticii sunt atrași în câmpul magnetic.

- La atingerea unei anumite temperaturi — *temperaturii Curie* (vezi tabelul de la pag. 88) — proprietățile feromagnetice ale substanței dispar și ea devine un paramagnetic.

- Materialele feromagnetice convențional se împart în două tipuri. Materiale, care după

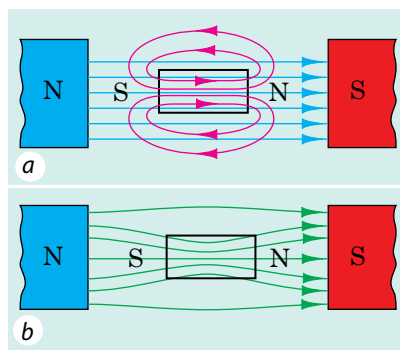


Fig. 15.6. Model de feromagnetic în câmpul magnetic exterior (a). Liniile câmpului magnetic rezultat par să se atragă în model (b)

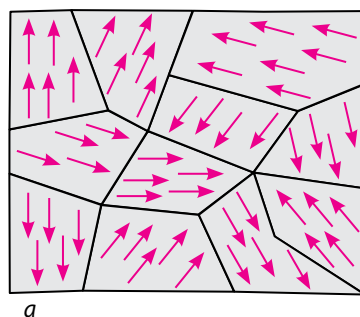


Fig. 15.7. Orientarea domeniilor modelului feromagnetic în stările nemagnetizată (a) și magnetizată (b)

*Temperatura Curie (T_C)
pentru unele metale*

Metalul	T_C , C
Cobalt	1403
Fier	1043
Nichel	631
Gadolinium	289
Terbiu	223
Disprosiu	87
Holmiu	20

încetarea acțiunii câmpului magnetic exterior rămân magnetizate un timp îndelungat se numesc *feromagnetice dure*. Ele sunt aplicate pentru confecționarea magneților permanenți.

Materiale feromagnetice, care ușor se magnetizează și ușor se demagnetizează se numesc *feromagnetice moi*. Ele sunt aplicate pentru confecționarea miezurilor electromagneților, motoarelor, transformatoarelor, generatoarelor electrice mecanice etc.



Facem totalurile

- Orice substanță se magnetizează în câmp magnetic. Mărimea fizică, care caracterizează proprietățile magnetice ale mediului se numește permeabilitate magnetică relativă a mediului: $\mu = \frac{B}{B_0}$.

- După valoarea permeabilității magnetice relative (μ) substanțele se împart în magnetici slabi și puternici. La substanțele magnetice slabe (diamagneticii și paramagneticii) μ diferă puțin de unitate.

- Atomii (moleculele) diamagneticilor nu au moment magnetic propriu, dar sub acțiunea câmpului magnetic exterior se formează un moment magnetic indus, orientat în sens opus inducției magnetice a câmpului magnetic exterior. Permeabilitatea magnetică relativă a diamagneticilor este puțin mai mică decât unitatea $\mu \leq 1$.

- Substanțele sunt paramagnetici, dacă permeabilitatea magnetică relativă a lor $\mu \geq 1$. Atomii (moleculele) paramagneticilor au moment magnetic propriu.

- Substanțe puternic magnetizate (feromagneticii) au μ cu mult mai mare decât unitatea ($\mu \gg 1$). Feromagneticii sunt compuși din domenii — porțiuni macroscopice, în care momentele magnetice proprii ale ionilor sunt orientate paralel unul cu altul.

Întrebări pentru control



1. De ce substanța schimbă câmpul magnetic? 2. Dați definiția permeabilității magnetice relative a mediului. 3. Care sunt particularitățile diamagneticilor? Cum are loc magnetizarea lor? Care sunt proprietățile lor magnetice? 4. Care sunt particularitățile paramagneticilor? Cum are loc magnetizarea lor? Care sunt proprietățile lor magnetice? 5. Care sunt particularitățile feromagnetice? Cum are loc magnetizarea lor? Care sunt proprietățile lor magnetice? 6. Unde sunt aplicate materialele magnetice?



Exercițiul nr. 15

1. Stabiliți corespondența dintre substanță și valoarea permeabilității magnetice relative.

1 Cupru 2 Nichel 3 Platină
A 0,576 B 0,999 994 C 1,000 262 D 600

2. Cilindrii din cupru și aluminiu de aceeași masă pe rând au fost suspendați de un resort și amplasați între polii unui electromagnet puternic. În care caz resortul se va alungi mai mult?

3. De ce miezul electromagneților este confecționat din oțel magnetic moale?
4. De ce, după părerea voastră, pentru caracterizarea câmpului magnetic al atomului se folosește noțiunea de moment magnetic, doar nici un fel de curenți în interiorul atomului nu există?
5. În ultimul timp se aplică pe larg, în special în radiotehnică și automatizare, *feritele* — materialele magnetice moi nemetalice, care au un șir de priorități față de cele metalice. Aflați, ce fel de materiale sunt acestea și în ce constau prioritățile lor.

Fizica și tehnica în Ucraina

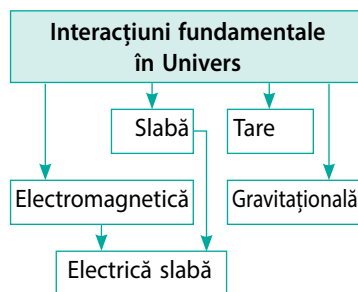


Ipoteza despre existența domeniilor a fost lansată încă în anul 1907, dar mult timp ea nu a fost dedusă teoretic. Teoria completă despre structura în domenii a fost creată de către fizicienii sovietici Lev Davidovici Landau (1908–1968) (în poză — din dreapta) și Ilia Mihailovici Lifșit (1916–1982), care au conlucrat un anumit timp la institutul fizico-tehnic din Harkov. În a. 1935 a ieșit lucrarea lor «Structura în domenii a feromagnetitelor și rezonanța feromagnetică», unde savanții au prezentat ecuația mișcării momentului magnetic (ecuația Landau — Lifșit), au

determinat forma și dimensiunile domeniilor fierului, au prevăzut fenomenul rezonanței feromagnetice. În același timp savanții încep a lucra asupra «Cursului de fizică teoretică», primul volum al căruia («Mecanică») a ieșit în a. 1938. Această lucrare fundamentală în 10 volume a devenit clasică, ea a fost reeditată de câteva ori în diferite limbi ale lumii, după ea si-au făcut studiile câteva generații de fizicieni.

§ 16. CÂMPUL ELECTROMAGNETIC

Interacțiunea electromagnetică aparține la cele patru tipuri de interacțiuni, care există în natură. Ea se manifestă între particulele, care posedă sarcină electrică și determină structura substanței (leagă electronii și nucleele atomilor în molecule), procesele chimice și biologice. Stările de agregare diferite ale substanțelor, forțele elastice, de frecare, etc. de asemenea se determină de interacțiunea electromagnetică. *Interacțiunea electromagnetică se realizează cu ajutorul câmpului electromagnetic.*



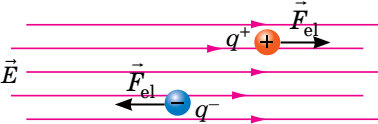
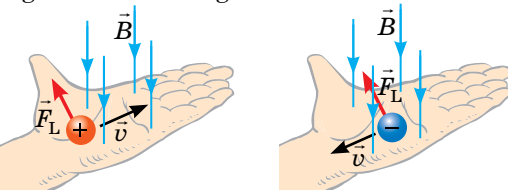
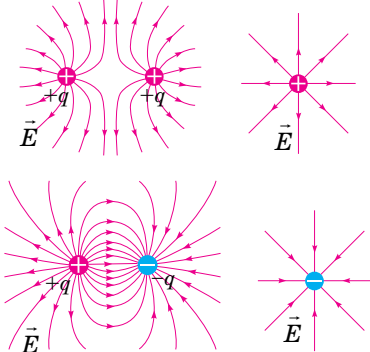
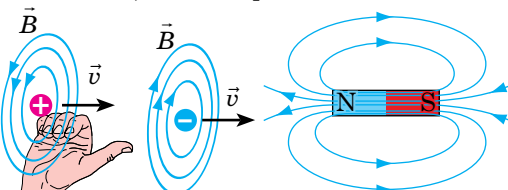
1

Ce este câmpul electromagnetic

Câmpul electromagnetic — o formă de existență a materiei, cu ajutorul căreia se realizează interacțiunea dintre corpurile încărcate, particulele încărcate, corpurile magnetizate.

Convențional este primit, că câmpul electromagnetic are două componente (două forme de manifestare): electrică și magnetică. Să ne amintim principalele proprietăți ale componentelor câmpului electromagnetic.

Componentele câmpului electromagnetic

Câmpul electric	Câmpul magnetic
<p><i>Câmpul electric</i> — componentă a câmpului electromagnetic, principala proprietate a căruia este acțiunea asupra particulelor încărcate mobile și imobile.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracteristica de forță a câmpului electric — <i>vectorul intensității câmpului electric</i> \vec{E}. • Forța \vec{F}_{el}, cu care câmpul electric acționează asupra particulei este direct proporțională cu sarcina particulei q și nu depinde de viteza mișcării particulei: $\vec{F}_{el} = q\vec{E}$. <p>Direcția forței \vec{F}_{el} coincide cu direcția vectorului \vec{E}, dacă sarcina q este pozitivă, și este orientată în sens opus vectorului \vec{E}, dacă sarcina q este negativă:</p> 	<p><i>Câmpul magnetic</i> — componentă a câmpului electromagnetic, principala proprietate a căruia este acțiunea asupra particulelor mobile încărcate.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracteristica de forță a câmpului magnetic — <i>vectorul inducției magnetice</i> \vec{B}. • Forța, cu care câmpul magnetic acționează asupra particulei (forța Lorentz \vec{F}_L), este direct proporțională cu sarcina particulei q și viteza v a mișcării particulei: $F_L = q Bv\sin\alpha$. <p>Direcția forței Lorentz se determină după <i>regula mâinii stângi</i>:</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Surse a câmpului electric (electrostatic):</i> particulele încărcate, corpurile încărcate. <i>Liniile de intensitate a câmpului electric, format de sarcini</i> începe de pe sarcina pozitivă sau de la infinit și se termină pe sarcina negativă sau la infinit.  <ul style="list-style-type: none"> • <i>Surse a câmpurilor electrice sunt de asemenea și câmpurile magnetice variabile.</i> La așa o concluzie a ajuns în a. 1831 M. Faraday. <i>Liniile de intensitate a câmpului electric, format de un câmp magnetic variabil sunt închise — câmpul electric format de un câmp magnetic variabil este turbionar.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Surse a câmpului magnetic:</i> corpurile mobile încărcate, particulele mobile încărcate, conductoarele cu curent, corpurile magnetizate. • <i>Liniile inducției magnetice a câmpului magnetic totdeauna sunt închise — câmpul magnetic este turbionar.</i> Direcția liniilor de inducție magnetică a câmpului magnetic, creat de un conductor parcurs de curent sau de o sarcină mobilă se determină cu ajutorul <i>mâinii drepte</i>: degetul mare al mâinii drepte se orientează în direcția curentului electric din conductor sau în direcția mișcării sarcinii pozitive (în sens opus direcției de mișcare a sarcinii negative); patru degete îndoite indică direcția liniilor de inducție magnetică. <i>Liniile de inducție magnetică a câmpului, creat de un corp magnetizat ies din polul nord al lui și intră în polul sud.</i>  <ul style="list-style-type: none"> • <i>Surse de câmpuri magnetice sunt de asemenea și câmpurile electrice variabile.</i> La această concluzie a ajuns în a. 1867 J. Maxwell.

În anul 1867 fizicianul englez J. Maxwell a lansat ipoteza despre aceea, că *câmpurile electric și magnetic nu există separat*, independent unul de altul: dacă câmpul magnetic variabil creează câmp electric, atunci conform principiului simetriei câmpul electric variabil trebuie să creeze câmp magnetic, adică în spațiu există un câmp electromagnetic unic. Peste 21 de zile după lansarea acestei ipoteze câmpul electromagnetic a fost descoperit pe cale experimentală (vezi § 22).

Asupra particulei, care are sarcina q și se mișcă într-un câmp electromagnetic cu viteza \vec{v} , acționează *forța rezultantă Lorentz* \vec{F} , care poate fi determinată după formula: $\vec{F} = \vec{F}_{e1} + \vec{F}_L$, unde $\vec{F}_{e1} = q\vec{E}$ — componenta electrică a forței rezultante Lorentz; $F_L = |q|Bv\sin\alpha$ — componenta magnetică a forței rezultante Lorentz.

Câmpul electromagnetic se propagă în spațiu cu viteză finită, care în vid constituie aproximativ $3 \cdot 10^8$ m/s, adică este egală cu viteza de propagare a luminii.

2 În ce constă relativitatea câmpurilor electric și magnetic

Unii dintre voi poate să nu fie de acord cu concluziile lui Maxwell despre aceea, că câmpurile electric și magnetic totdeauna există împreună, doar știe bine că, de exemplu, lângă un corp încărcat imobil există numai câmp electric, iar lângă un magnet permanent imobil — numai câmp magnetic. Dar amintiți-vă: *mișcarea și repausul depind de alegerea sistemului de referință*.

Imaginați-vă, că voi mergeți de la prietenul vostru, ținând în mâini un magnet. Dacă omul ar avea capacitatea de a observa întotdeauna câmpul electromagnetic, atunci în acest caz voi ați «vedea» numai una dintre componentele lui — câmpul magnetic, deoarece în raport cu voi magnetul este imobil. În același timp prietenul vostru ar «vedea» atât câmpul magnetic, cât și cel electric, de aceea că în raport cu el magnetul se mișcă și câmpul magnetic variază (vezi fig. 16.1).

? Dacă prietenul vostru va lua o bilă încărcată și o va duce înspre voi (vezi fig. 16.2), cine dintre voi va «depista» numai câmpul electric, dar cine — și cel magnetic, și cel electric? Argumentați răspunsul vostru.

Astfel, afirmația, că în punctul dat există câmp numai electric (sau numai magnetic) nu are sens, deoarece nu este indicat sistemul de referință. Totodată noi niciodată nu vom găsi sistemul de referință, în raport cu care ar fi «dispărut» ambele componente ale câmpului electromagnetic, deoarece *campul electromagnetic este material*.



Fig. 16.1. În sistemul de referință legat de fetiță, se observă numai componenta magnetică a câmpului electromagnetic. În sistemul de referință legat de băiat se observă ambele componente — și cea electrică, și cea magnetică



Fig. 16.2. Pentru însărcinarea din § 16



Facem totalurile

• Interacțiunea electromagnetică se realizează cu ajutorul câmpului electromagnetic. Câmpul electromagnetic — o formă de existență a materiei, cu ajutorul căreia se realizează interacțiunea dintre corpurile încărcate și particulele încărcate și dintre corpurile magnetizate.

• Convențional este primit, că câmpul electromagnetic are două componente (două forme de manifestare) — electrică (câmpul electric), care se caracterizează prin influența câmpului atât asupra particulelor încărcate mobile, cât și asupra celor imobile și magnetică (câmpul magnetic), care se caracterizează prin influența numai asupra particulelor mobile.

• Câmpurile electric și magnetic nu există separat, independent unul de altul: câmpul magnetic variabil creează câmp electric, iar câmpul electric variabil creează câmp magnetic.

Întrebări pentru control

1. Dați definiția câmpului electromagnetic, numiți părțile lui componente.
2. Dați definiția câmpului electric. Care mărime fizică este caracteristica de forță a lui? 3. Numiți sursele câmpului electric. Ce reprezintă liniile de intensitate ale câmpului, generat de fiecare tip de surse? 4. Dați definiția câmpului magnetic. Care mărime fizică este caracteristica de forță a lui? 5. Numiți sursele câmpului magnetic. Ce reprezintă liniile de inducție magnetică a câmpului magnetic, generat de fiecare tip de surse? 6. În ce constă ipoteza lui J. Maxwell? Numiți proprietățile principale ale câmpului electromagnetic.



Exercițiul nr. 16

1. Sarcina pe plăcile condensatorului cu aer (fig. 1) scade. Există oare între plăcile condensatorului componentele electrică și magnetică ale câmpului electromagnetic?

2. Vor exista oare câmpurile electric și magnetic în jurul unui conductor parcurs de curent în sistemul de referință legat de acest conductor, dacă: a) intensitatea curentului în conductor nu se schimbă? b) intensitatea curentului în conductor se mărește?

3. Un electron se mișcă în câmpul electromagnetic. La un anumit moment electronul nimereste în punctul, unde viteza mișcării lui constituie 80 km/s și este orientată vertical în sus (fig. 2). Determinați forța, care acționează asupra electronului din partea câmpului, dacă inducția magnetică \vec{B} a câmpului în acest punct este egală cu 0,005 T și este orientată de la noi, iar intensitatea câmpului electric \vec{E} este egală cu 3 kN/C și este orientată vertical în jos. Determinați accelerația mișcării electronului în acest punct.

4. Când într-un conductor trece curent electric continuu, electronii liberi se mișcă într-o anumită direcție și de aceea lângă conductor există câmp magnetic. Câmpul electric lipsește, doar conductorul în întregime este neutru din punct de vedere electric. Acum imaginați-vă, că voi mișcându-vă de-a lungul conductorului cu viteza, care este egală cu viteza mișcării orientate a electronilor în conductor. În raport cu voi electronii nu se mișcă, și deci nu creează câmp magnetic. Totodată conductorul rămâne neutru. Reiese, că în sistemul de referință legat de voi ambele componente ale câmpului electromagnetic au dispărut! Oare așa este? Dacă nu, atunci unde-i greșeala?



Fig. 1

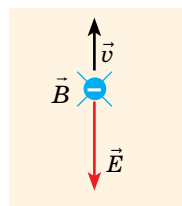


Fig. 2

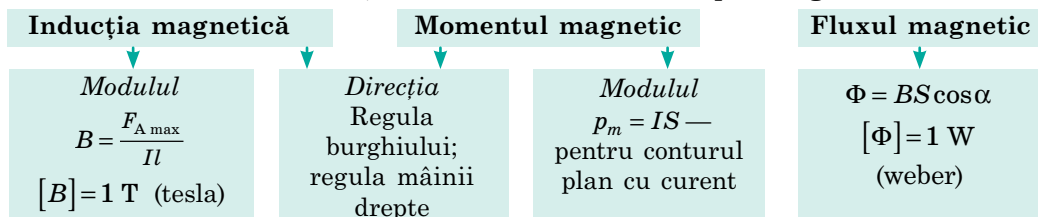
FACEM TOTALURILE CAPITOLULUI I «ELECTRODINAMICA».

Partea 2. Electromagnetismul

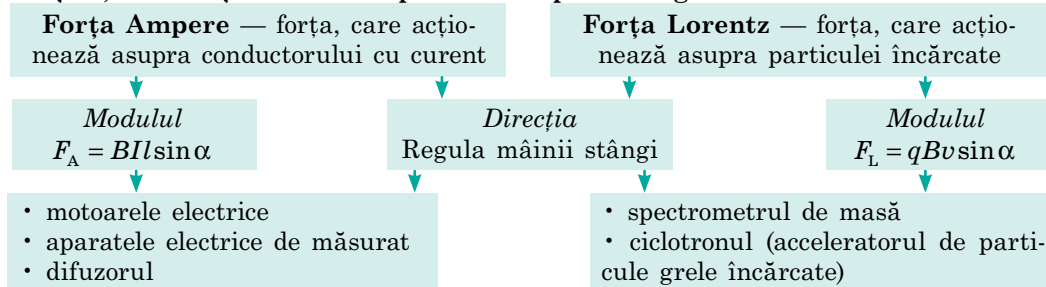
1. Voi v-ați aprofundat cunoștințele voastre despre *câmpul magnetic*.

Câmpul magnetic — aceasta-i componenta câmpului electromagnetic, datorită căreia se realizează interacțiunea dintre corpurile și particulele încărcate care se mișcă, și corpurile magnetizate.

Mărimile fizice, care caracterizează câmpul magnetic



Forțele, care acționează din partea câmpului magnetic



2. Voi ați repetat *experimentele lui Faraday*, ați învățat *fenomenul inducției electromagnetice* și cazul lui particular — *fenomenul autoinducției*.

Fenomenul inducției electromagnetice — fenomenul apariției câmpului electric turbionar sau a polarizării electrice a conductorului în timpul variației câmpului magnetic sau în timpul mișcării conductorului în câmp magnetic.

Legea lui Faraday: $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'(t)$, **Legea autoinducției:** $\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$,
unde $\Delta\Phi / \Delta t$ — viteza variației fluxului magnetic unde L — inductanța; $[L] = \text{H}$ (henry)

3. Ați aflat, că direcția curentului de inducție se determină după regula lui Lenz.

4. Voi ați stabilit că câmpul magnetic are energie și că *energia câmpului magnetic a conductorului cu curent este egală cu:* $W_M = \frac{LI^2}{2}$.

5. V-ați amintit, că câmpurile electric și magnetic — două forme de manifestare a unicului câmp electromagnetic.

Câmpul electromagnetic — o formă a materiei, cu ajutorul căreia se realizează interacțiunea dintre corpurile încărcate, particulele încărcate, corpurile magnetizate.



ÎNSĂRCINĂRI PENTRU AUTOVERIFICARE LA CAPITOLUL I «ELECTRODINAMICA». PARTEA 2. ELECTROMAGNETISMUL

Însărcinarea 1. Când în conductor (fig. 1) s-a lăsat să treacă curentul electric, acul magnetic s-a abătut.

- (2 baluri). Care este direcția curentului, dacă acul magnetic s-a întors cu polul nord spre noi?
- (3 baluri). Demonstrați, că dacă prin două conductoare paralele trec curenți în direcții opuse, atunci conductoarele se resping.

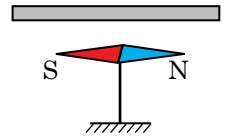


Fig. 1

Însărcinarea 2. Un electron a trecut în zbor printr-un condensator plan, distanța dintre armăturile căruia este de 2,4 cm (fig. 2). Viteza inițială de mișcare a electronului este paralelă cu armăturile condensatorului. În interiorul condensatorului este creat un câmp magnetic cu inducția de $5,0 \cdot 10^{-4}$ T orientată spre observator (spre noi).

- (1 bal). Asupra electronului din partea câmpului magnetic acționează:
 - forța lui Coulomb;
 - forța Ampere;
 - forța Lorentz;
 - forța de frecare.
- (2 baluri). Dacă pe condensator se creează o tensiune de 36 V, atunci electronul se va mișca rectiliniu și paralel cu armăturile condensatorului. Determinați viteza mișcării electronului.
- (3 baluri) Reprezentați traiectoria mișcării electronului și determinați perioada de rotație a lui, dacă tensiunea pe armăturile condensatorului lipsește.

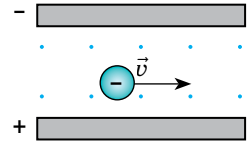


Fig. 2

Însărcinarea 3. În fig. 3 este reprezentată o instalație compusă din două tije conductoare groase paralele (distanța dintre tije este de 0,2 m), care sunt unite cu jamper-ul conductor MN și condensatorul C. Toată instalația este situată într-un câmp magnetic constant cu inducția de 0,8 T.

- (2 baluri). Calculați FEM de inducție, ce apare în jamper-ul care se mișcă cu viteza de 0,1 m/s.
 - 16 mV;
 - 25 mV;
 - 100 mV;
 - 400 mV.
- (2 baluri). Cu ce viteză trebuie să se miște jamper-ul, pentru ca pe capetele lui să apară o diferență de potențial de 0,24 V?
- (3 baluri) Calculați sarcina, care se acumulează în condensator, dacă jamper-ul se mișcă cu viteza de 0,1 m/s. Capacitatea condensatorului este de 1000 μ F.

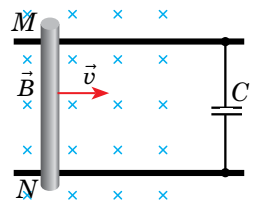


Fig. 3

Însărcinarea 4. O bobină supraconductoare cu inductanța de 30 mH este conectată la o sursă de curent. Peste un anumit interval de timp intensitatea curentului în bobină a atins 50 A.

- (1 bal). Inductanța bobinei nu depinde de...
 - numărul de spire în bobină;
 - forma miezului;
 - materialul, din care este confecționat miezul;
 - intensitatea curentului în bobină.
- (2 baluri). În momentul, când intensitatea curentului în bobină a crescut până la valoarea indicată, fluxul magnetic prin bobină este egal cu:
 - 0;
 - 0,6 Wb;
 - 1,5 Wb;
 - 1500 Wb.
- (3 baluri) Peste care interval de timp intensitatea curentului în bobină va atinge valoarea indicată, dacă FEM a sursei de curent este de 15 V, iar rezistența ei este neglijabil de mică? Considerați, că intensitatea curentului variază uniform.

Confrunțați răspunsurile voastre cu cele indicate la sfârșitul manualului. Notați însărcinările, pe care le-ați efectuat corect și calculați suma balurilor. Împărțiți această sumă la doi. Numărul obținut va corespunde nivelului atins de voi la învățătură.

CAPITOLUL II.

OSCILAȚII ȘI UNDE ELECTROMAGNETICE



§ 17. OSCILAȚII. TIPURI DE OSCILAȚII. MĂRIMILE FIZICE, CARE CARACTERIZEAZĂ OSCILAȚIILE



În cursul de fizică din clasa a 10-ea ați făcut cunoștință cu una din cele mai răspândite mișcări din natură — cu *oscilațiile mecanice*. Există de asemenea oscilații cu totul de altă natură — *electromagnetice*. Necâtând la aceea că aceste două fenomene — oscilațiile mecanice și electromagnetice ele — sunt diferite după natura sa, ele, ele totuși au o serie de criterii specifice comune și sunt descrise de aceleași legi matematice.

1

Tipurile de oscilații și condițiile apariției lor

Oscilațiile — schimbările de stare a sistemului lângă un anumit punct de echilibru, care se repetă exact sau aproximativ cu timpul.

După caracterul interacțiunii cu corpurile și câmpurile înconjurătoare se deosebesc *oscilații libere*, *oscilații forțate*, *autooscilații*.

Oscilații libere	Oscilații forțate	Autooscilații
<p><i>Oscilații libere</i> — acestea sunt oscilațiile, care au loc sub acțiunea forțelor interne ale sistemului și apar după ce sistemul a fost scos din starea de echilibru.</p> <ul style="list-style-type: none">• Sistemele, în care pot lua naștere oscilații libere se numesc sisteme oscilatorii.• Pentru ca într-un sistem oscilatoriu să apară oscilații libere, este necesară realizarea a două condiții:<ol style="list-style-type: none">1) sistemului trebuie de-i transmis energie;2) pierderile de energie din sistem trebuie să fie neînsemnate.Libere, de exemplu, sunt oscilațiile mecanice ale unei greutateți pe resort care apar, dacă greutatea este abătută din poziția de echilibru și lăsată în voia ei; oscilațiile electromagnetice în conturul oscilant (vezi §18).• Amplitudinea oscilațiilor libere este determinată de condițiile inițiale.	<p><i>Oscilații forțate</i> — acestea sunt oscilațiile, care au loc în sistem numai sub acțiunea unei influențe periodice exterioare.</p> <p>Forțate, de exemplu, sunt oscilațiile straturilor de aer în timpul propagării undei sonore, variația periodică a intensității curentului în rețeaua electrică (vezi § 19).</p> <ul style="list-style-type: none">• În timpul oscilațiilor forțate poate apărea fenomenul de rezonanță – creșterea bruscă a amplitudinii oscilațiilor de câteva ori în cazul, când frecvența influenței periodice exterioare coincide cu frecvența proprie a oscilațiilor sistemului.• Amplitudinea oscilațiilor forțate este determinată de intensitatea influenței periodice.	<p><i>Autooscilații</i> — oscilațiile neamortizate, care au loc în urma capacității sistemului de ași regla însuși alimentarea cu energie de la o sursă constantă.</p> <ul style="list-style-type: none">• Sistemul, în care pot lua naștere autooscilații se numesc sisteme autooscilante. La sistemele autooscilante se pot referi, de exemplu, ceasul mecanic sau generatorul de oscilații electromagnetice de frecvență înaltă (vezi § 23).• Amplitudinea autooscilațiilor este determinată de proprietățile sistemului autooscilant.

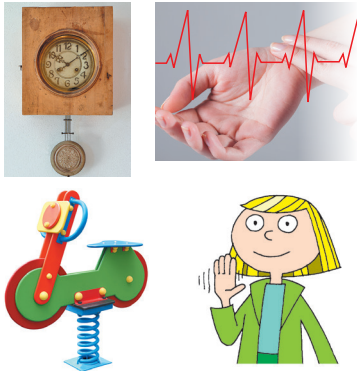


Fig. 17.1. Diferite tipuri de oscilații mecanice

Dacă în sistemul oscilant nu sunt nici un fel de pierderi de energie, atunci oscilațiile vor dura oricât de mult — amplitudinea lor nu se va schimba cu timpul. Astfel de oscilații se numesc *neamortizate*.

Însă în orice sistem oscilant real totdeauna sunt pierderi de energie: în timpul oscilațiilor mecanice energia se consumă pentru depășirea forțelor de frecare, deformației; în timpul oscilațiilor electromagnetice — pentru încălzirea conductoarelor, radiația undelor electromagnetice ș.a. În rezultat amplitudinea oscilațiilor cu timpul scade și peste un anumit interval de timp, dacă lipsește alimentare cu energie de la o sursă exterioară, oscilațiile încetează (se amortizează). De aceea oscilațiile libere totdeauna sunt *amortizate*.

? În fig. 17.1 sunt prezentate diferite exemple de oscilații mecanice. Ce fel de oscilații sunt acestea: libere, forțate? amortizate, neamortizate?

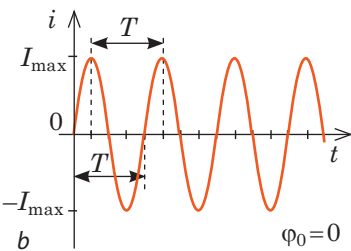
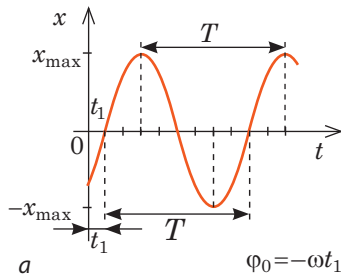


Fig. 17.2. Graficele oscilațiilor armonice: *a* — graficul dependenței coordonatei corpului de timp: $x(t) = x_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$; *b* — graficul dependenței intensității curentului de timp: $i(t) = I_{\max} \sin \omega t$. x_{\max} — amplitudinea oscilațiilor; T — perioada oscilațiilor; φ_0 — faza inițială a oscilațiilor

Dacă corpul efectuează oscilații mecanice, atunci se schimbă poziția în spațiu (coordonata), viteza și accelerația mișcării lui. În cazul oscilațiilor electromagnetice se schimbă intensitatea curentului în circuit, sarcina și tensiunea de pe armăturile condensatorului, forța electromotoare (FEM). Legile generale ale mișcării oscilatorii sunt suficient de complicate și sunt în afara cursului școlar de fizică, de aceea noi vom cerceta numai un caz aparte de oscilații — *oscilațiile armonice*.

Oscilațiile armonice — acestea sunt oscilațiile, în timpul cărora valoarea mărimii fizice se schimbă cu timpul după legea armonică.

Ecuția oscilațiilor armonice are forma:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0), \text{ sau } x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

unde x — valoarea mărimii variabile în momentul dat de timp t ; A — amplitudinea oscilațiilor; ω — recvența ciclică; φ_0 — faza inițială a oscilațiilor.

Graficul dependenței valorii mărimii variabile de timp se numește graficul oscilațiilor.

Graficul oscilațiilor armonice are aspectul unei curbe, care în matematică este numită sinusoidă sau cosinusoidă. Cu ajutorul graficului oscilațiilor, ca și cu ajutorul ecuațiilor oscilațiilor este ușor de determinat principalele caracteristici ale oscilațiilor (fig. 17.2).

2 Care mărimi fizice caracterizează oscilațiile

Amplitudinea oscilațiilor A — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează oscilațiile și este egală cu valoarea maximă a mărimii variabile.

Unitatea de măsură a amplitudinii oscilațiilor este determinată de unitatea de măsură a mărimii variabile. Astfel, în cazul oscilațiilor mecanice prin amplitudine se subînțelege deplasarea maximă: $A = x_{\max}$ ($[x_{\max}] = 1 \text{ m}$); se poate vorbi de asemenea despre amplitudinea vitezei ($[v_{\max}] = 1 \text{ m/s}$) și amplitudinea accelerației ($[a_{\max}] = 1 \text{ m/s}^2$). În cazul oscilațiilor electromagnetice merge vorba despre amplitudinea intensității curentului ($[I_{\max}] = 1 \text{ A}$), amplitudinea tensiunii ($[U_{\max}] = 1 \text{ V}$), amplitudinea FEM ($[E_{\max}] = 1 \text{ V}$) ș.a.

Perioada oscilațiilor T — mărimea fizică, care caracterizează oscilațiile și este egală cu intervalul minim de timp, după care valoarea mărimii variabile se repetă, adică timpul, în care se efectuează o oscilație completă:

$$T = \frac{t}{N},$$

unde t — timpul oscilațiilor; N — numărul de oscilații complete în acest timp.

Unitatea de măsură a perioadei oscilațiilor în SI — **secunda** (s) (s).

Frecvența oscilațiilor ν — mărimea fizică, care caracterizează oscilațiile și cantitativ este egală cu numărul de oscilații complete care se efectuează într-o unitate de timp: $\nu = \frac{N}{t}$.

Unitatea de măsură a frecvenței în SI — **hertzul**: (Hz) (Hz).

Frecvența ciclică ω — mărimea fizică, care caracterizează oscilațiile și cantitativ este egală cu numărul de oscilații complete care au loc în 2π secunde: $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$.

Unitatea de măsură a frecvenței ciclice în SI — **radian pe secundă** (rad/s, sau s^{-1}) (rad/s, sau s^{-1}).

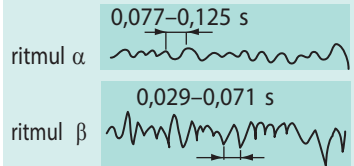
Faza oscilațiilor φ — mărimea fizică, care caracterizează starea sistemului oscilant în momentul dat de timp: $\varphi = \omega t + \varphi_0$.

Faza oscilațiilor este determinată de perioada oscilațiilor (deoarece $\omega = \frac{2\pi}{T}$), momentul de timp t , în care este fixată valoarea mărimii variabile, și de faza inițială a oscilațiilor φ_0 — faza oscilațiilor în momentul începutului măsurării timpului.

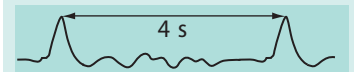
Fizica în cifre

Datele statistice medii ale perioadelor proceselor ciclice în organismul omului

Ritmurile creierului — oscilațiile electrice ale creierului



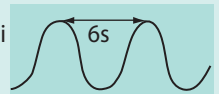
Mișcările de înghițire ale esofagului



Ritmul inimii



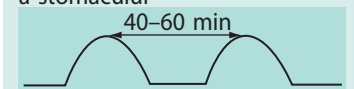
Respirația prin plămâni (inspirația și expirația)



Funcția motoare a stomacului

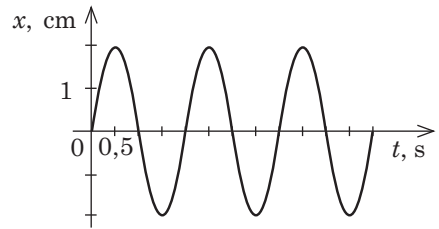


Funcția motoare «în gol» a stomacului



3 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. După graficul oscilațiilor unui corp fixat de resort (vezi des.): 1) determinați amplitudinea, perioada, frecvența, frecvența ciclică a oscilațiilor; 2) scrieți ecuația oscilațiilor și ecuația vitezei de mișcare a corpului; 3) aflați deplasarea și viteza mișcării corpului în faza $\frac{\pi}{6}$ rad.



Rezolvarea.

1) Amplitudinea oscilațiilor (deplasarea maximă a corpului) și perioada oscilațiilor (timpul, în care corpul efectuează o oscilație) vom determina după grafic:

$$x_{\max} = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}; T = 2 \text{ s}.$$

Frecvența și frecvența ciclică a oscilațiilor vom determina după formulele respective:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} \text{ s}^{-1} = 0,5 \text{ Hz}; \omega = 2\pi\nu = 2\pi \cdot 0,5 \frac{1}{\text{s}} = \pi \text{ s}^{-1}.$$

2) În momentul începerii observării ($t = 0$) corpul se află în poziția de echilibru ($x_0 = 0$), de aceea ecuația oscilațiilor are aspectul: $x = x_{\max} \sin \omega t$. Înlocuind valorile $x_{\max} = 0,02 \text{ m}$ și $\omega = \pi \text{ s}^{-1}$ în ecuația oscilațiilor, avem:

$$x = 0,02 \sin \pi t \text{ (m)}.$$

Viteza mișcării corpului este egală cu viteza variației coordonatei lui:

$$v(t) = x'(t) = (0,02 \sin \pi t)' = 0,02\pi \cos \pi t \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right).$$

3) Dacă $\varphi = \frac{\pi}{6}$, atunci $x(t) = x_{\max} \sin \varphi = 0,02 \sin \frac{\pi}{6} = 0,01 \text{ (m)}$; $v(t) = 0,02\pi \cos \frac{\pi}{6} \approx 0,054 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$.

Răspuns: 1) $x_{\max} = 0,02 \text{ m}$; $T = 2 \text{ s}$; $\nu = 0,5 \text{ Hz}$; $\omega = \pi \text{ s}^{-1}$; 2) $x = 0,02 \sin \pi t \text{ (m)}$; $v = 0,02\pi \cos \pi t \text{ (m/s)}$; 3) $x = 1 \text{ cm}$; $v = 5,4 \text{ cm/s}$.



Facem totalurile

- Oscilațiile — schimbările de stare a sistemului lângă un anumit punct de echilibru, care se repetă exact sau aproximativ cu timpul.
 - După caracterul interacțiunii cu corpurile și câmpurile înconjurătoare se deosebesc *oscilații libere*, *forțate*, *autooscilații*: oscilațiile libere au loc sub acțiunea forțelor interne ale sistemului; oscilațiile forțate — sub acțiunea forței exterioare, ce variază periodic; autooscilațiile există în sistem pe contul debitului de energie obținut de la o sursă constantă cu condiția, că debitul de energie este reglat de însuși sistemul.
 - Oscilațiile, amplitudinea cărora nu se schimbă cu timpul se numesc neamortizate; oscilațiile, amplitudinea cărora scade cu timpul — amortizate.
 - Oscilațiile, în timpul cărora valoarea mărimii variabile se schimbă cu timpul după legea armonică (legea cosinusului sau sinusului) se numesc oscilații armonice. Ecuația oscilațiilor armonice are forma: $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$, sau $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$, unde x — valoarea mărimii variabile în momentul dat de timp t ; A — amplitudinea oscilațiilor; $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$ — frecvența ciclică; $\omega t + \varphi_0$ — faza oscilațiilor; φ_0 — faza inițială.



Întrebări pentru control

1. Dați definiția oscilațiilor. 2. Care oscilații se numesc libere? forțate? autooscilații? Dați exemple. 3. Care sunt condițiile necesare pentru apariția oscilațiilor libere? 4. Care oscilații se numesc amortizate? neamortizate? Dați exemple. 5. Numiți principalele mărimi fizice, care caracterizează oscilațiile. Dați definițiile lor. 6. Care oscilații se numesc armonice? Scrieți ecuația oscilațiilor armonice. 7. Care este aspectul graficului oscilațiilor armonice?



Exercițiul nr. 17

1. Un corp fixat de un resort efectuează trei oscilații pe secundă. Abaterea maximă a corpului de la poziția de echilibru — 0,8 cm. 1) Determinați perioada și frecvența ciclică a oscilațiilor. 2) Scrieți ecuația oscilațiilor armonice, dacă la momentul începutului măsurării timpului corpul se afla în poziția de echilibru.
2. Scrieți ecuația oscilațiilor armonice a intensității curentului într-o lampă electrică, dacă amplitudinea oscilațiilor constituie 0,5 A, iar perioada oscilațiilor — 0,02 s. La momentul începutului măsurării timpului intensitatea curentului în lampă era maximă.
3. Ecuația oscilațiilor unui corp are aspectul: $x(t) = 0,02 \cos\left(\frac{\pi}{12}t + \frac{\pi}{6}\right)$ (m). Determinați: a) amplitudinea, perioada, frecvența oscilațiilor; b) faza oscilațiilor, coordonata și viteza mișcării corpului peste 2 s de la începutul observării.
4. În fig. 1 și fig. 2 sunt date graficele oscilațiilor armonice. Pentru fiecare caz determinați: a) amplitudinea, perioada, frecvența oscilațiilor; b) scrieți ecuația oscilațiilor.

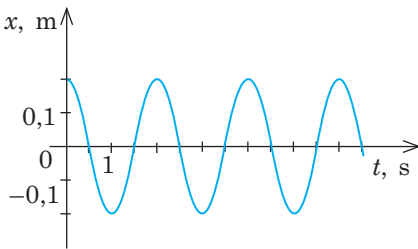


Fig. 1

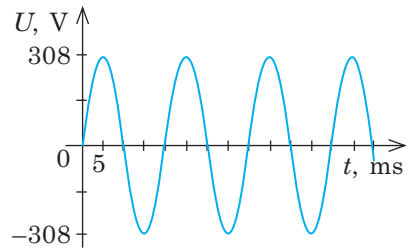


Fig. 2



Însărcinare experimentală

Confectionați dispozitivul (vezi fig. 3). Pe o fâșie de hârtie depuneți un strat de pastă de lipit (ea poate fi pregătită din apă și făină) sau clei pentru tapete. Astupați cu degetul orificiul inferior al conului suspendat, turnați în con nisip uscat (sau sare mărunță, crupe de gris). Abateți conul de la poziția de echilibru și dați-i drumul. Concomitent începeți să mișcați fâșia de hârtie așa, cum este indicat în fig. 3. Curgând, nisipul va lăsa pe fâșie o urmă sub formă de o linie ondulatorie. Pe graficul oscilațiilor armonice obținut indicați amplitudinea oscilațiilor și măsurați-o. Măsurați cantitatea oscilațiilor conului într-un anumit timp, determinați perioada și viteza, cu care ați tras fâșia. Scrieți ecuația oscilațiilor.

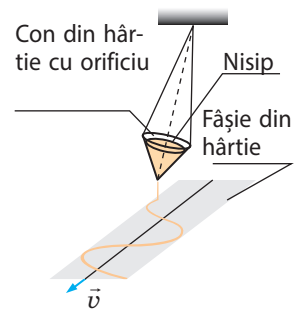


Fig. 3

i

§ 18. OSCILAȚII ELECTROMAGNETICE LIBRE ÎNTR-UN CONTUR OSCILANT IDEAL. FORMULA LUI THOMSON



Nu ne putem imagina societatea actuală fără schimbul rapid de informație, adică fără telefoane mobile, Internet. Cu toate că nu demult — peste o sută de ani în urmă — a fost inventat radioul și cu o jumătate de secol în urmă în viața noastră a intrat televiziunea. Toate aceste realizări ale tehnicii se bazează pe emiterea și recepționarea radiosemnalelor. Azi veți face cunoștință cu dispozitivul fizic, care este o parte componentă obligatorie a majorității radioemițătoarelor și aparatelor de radiorecepție.

Amintim

■ **Condensatorul** — aceasta-i dispozitivul pentru acumularea sarcinii electrice, care este compus din două armături conductoare, separate printr-un strat de dielectric.

■ Mărimea fizică, care caracterizează condensatorul se numește **capacitate electrică**:

$$C = \frac{q}{U},$$

unde q — sarcina condensatorului (modulul sarcinii uneia dintre armăturile încărcate cu sarcini de semne diferite); U — tensiunea dintre armături.

■ **Unitatea de măsură a capacității electrice în SI — farad (F).**

■ **Capacitatea condensatorului plan** se determină după formula:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$

unde ϵ_0 — constanta electrică; ϵ — permitivitatea dielectrică a dielectricului; S — aria unei armături; d — distanța dintre armături.

■ Între armăturile condensatorului există **câmp electric**, energia căruia poate fi determinată după următoarele formule:

$$W_{el} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

1 Cum au loc oscilațiile electromagnetice în conturul oscilant

■ **Conturul oscilant** — dispozitivul fizic, care este compus din condensator și bobină de inducțanță unite în serie (fig. 18.1).

Conturul oscilant este un sistem oscilatoriu, adică în el pot apărea oscilații electromagnetice libere.

Pentru apariția oscilațiilor libere în conturul oscilant, sistemului trebuie de-i transmis energie, de exemplu de încărcat condensatorul. Să unim condensatorul cu sursa de curent continuu cu tensiunea la ieșire U_{max} . Pe armăturile condensatorului se acumulează o anumită sarcină electrică q_{max} , iar între armături va apărea câmp electric, energia căruia este egală cu:

$$W_{el, max} = \frac{CU_{max}^2}{2} = \frac{q_{max}^2}{2C}.$$

Dacă conectăm condensatorul, după ce a fost încărcat, la o bobină de inducțanță (fig. 18.2, a), atunci sub acțiunea câmpului electric al condensatorului particulele încărcate libere vor începe să se miște orientat. În contur va apărea curent electric, iar condensatorul va începe să se descarce (fig. 18.2, b).



18.1. Modelul (a) și schema electrică (b) a conturului oscilant: 1 — bobină de inducțanță; 2 — condensator

Curentul electric totdeauna dă naștere la câmp magnetic. Deosebit de puternic este acest câmp în interiorul bobinei. Intensitatea curentului în bobină se mărește, de aceea inducția magnetică a câmpului magnetic creat de curent la fel se mărește. Câmpul magnetic variabil generează câmpul electric turbionar \vec{E} , care în acest caz este orientat în direcția opusă curentului, de aceea intensitatea curentului crește treptat. Așadar, *în decursul primului sfert de perioadă energia câmpului electric al condensatorului se transformă în energie a câmpului magnetic al bobinei*. Energia totală a conturului oscilant va fi egală cu:

$$W = W_{el} + W_m = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2},$$

unde q — sarcina condensatorului la un moment dat de timp; C — capacitatea condensatorului; L — inductanța bobinei; i — intensitatea curentului în bobină.

În acel moment, când condensatorul s-a descărcat complet (fig. 18.2, c) energia câmpului electric ($W_{el} = 0$), va fi egală cu zero, intensitatea curentului va atinge valoarea maximă I_{max} , iar energia totală a conturului va fi egală cu:

$$W = W_{m, max} = \frac{LI_{max}^2}{2}.$$

Sarcina pe armăturile condensatorului a devenit nulă, însă curentul nu dispare deodată și nu-și schimbă direcția sa. De îndată ce intensitatea curentului în bobină va începe să se micșoreze se va micșora și inducția magnetică a câmpului, creat de acest curent — va lua naștere câmpul electric turbionar, care în acest caz susține curentul. Particulele încărcate își continuă mișcarea tot în aceeași direcție, și condensatorul se reîncarcă — sarcina pe armăturile lui se schimbă în opusă (fig. 18.2, d). Așadar, *în decursul celui de-al doilea sfert de perioadă energia câmpului magnetic al bobinei se transformă în energie a câmpului*

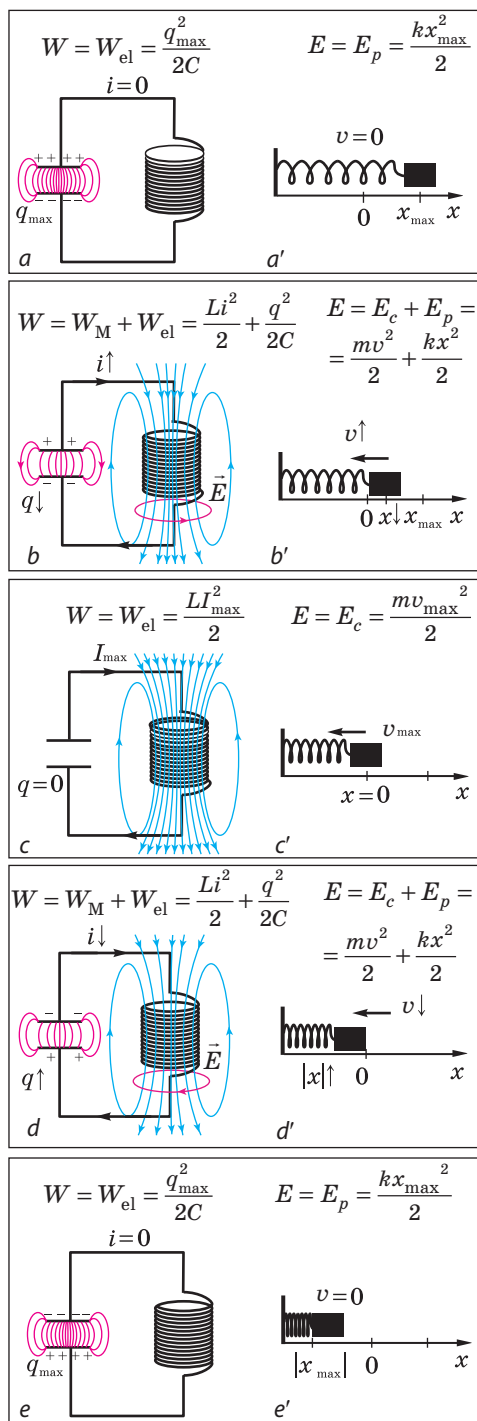


Fig. 18.2. Mecanismul oscilațiilor electromagnetice libere în conturul oscilant (a-e) și mecanismul oscilațiilor electromagnetice libere ale pendulului elastic (a'-e')

electric al condensatorului. Condensatorul se va reîncărca până când intensitatea curentului nu va deveni egală cu zero ($i = 0$). Energia câmpului magnetic al bobinei în acest moment tot va deveni egală cu zero ($W_m = 0$), iar energia câmpului electric al condensatorului va obține valoarea maximă (fig. 18.2, e).

În următoarea jumătate de perioadă caracterul variației sarcinii electrice pe armăturile condensatorului și caracterul variației intensității curentului în contur vor fi tot aceleași numai că în direcție opusă. Când sarcina de pe armăturile condensatorului va atinge valoarea maximă (fig. 18.2, a), se va termina o oscilație completă.

❓ Examinați fig. 18.2. Ce trăsături comune au oscilațiile mecanice ale pendulului elastic și oscilațiile electromagnetice în conturul oscilant? Cum considerați voi, vor fi oare aceste oscilații amortizate?

2 Analogia între oscilațiile electromagnetice libere și oscilațiile mecanice

Dacă am compara oscilațiile electromagnetice (vezi fig. 18.2, a–d) și oscilațiile mecanice (vezi fig. 18.2, a'–e'), atunci se poate observa, că oscilațiile de natură diferită se supun unor legități asemănătoare.

Oscilațiile mecanice ale pendulului elastic	Oscilațiile electromagnetice în conturul oscilant
În timpul oscilațiilor are loc transformarea periodică a energiei.	
Energia potențială ↔ Energie cinetică	Energia câmpului electric ↔ Energie a câmpului magnetic
În orice sistem oscilant totdeauna sunt pierderi de energie, de aceea <i>oscilațiile reale sunt amortizate.</i>	
Energia se consumă pentru învingerea forțelor de rezistență a mișcării și pentru încălzirea arcului în timpul deformației.	Energia se consumă pentru încălzirea conductoarelor de conexiune și a înfășurării bobinei (conductoarele au rezistență).
Dacă nu ar fi pierderi de energie (sistemul oscilant ar fi ideal), oscilațiile ar fi neamortizate (amplitudinea oscilațiilor ar rămâne neschimbată), dar energia totală a sistemului oscilant s-ar păstra.	
Legea conservării energiei pentru <i>pendulul elastic ideal</i> : $E_{p \max} = E_p + E_c = E_{c \max},$ sau $\frac{kx_{\max}^2}{2} = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{mv_{\max}^2}{2}.$	Legea conservării energiei pentru <i>conturul oscilant ideal</i> : $W_{el. \max} = W_{el} + W_m = W_{m. \max},$ sau $\frac{q_{\max}^2}{2C} = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2}.$
Oscilațiile într-un sistem oscilant ideal se numesc oscilații proprii, iar <i>perioada oscilațiilor proprii este determinată de parametrii sistemului oscilant</i> și nu depinde de amplitudine, adică de energia, care este transmisă sistemului în timpul scoaterii lui din starea de echilibru.	
Perioada oscilațiilor mecanice ale corpului suspendat de un resort se determină după formula: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$	Perioada oscilațiilor electromagnetice libere în conturul oscilant se determină după <i>formula lui Thomson</i> : $T = 2\pi\sqrt{LC}.$

Formula lui Thomson poate fi obținută, făcând analogia dintre oscilațiile electromagnetice libere în conturul oscilant și oscilațiile mecanice ale corpului suspendat de un resort: masa m a corpului în sistemul mecanic oscilant este analoagă inductanței L a bobinei, iar rigiditatea k a resortului — mărimii inverse capacității condensatorului, adică $1/C$. Cu cât este mai mică rigiditatea resortului, cu atât mai lent oscilează corpul. Cu cât este mai mare capacitatea condensatorului, cu atât mai mult timp el se încarcă și se descarcă.

Atrageți atenția! Oscilațiile mecanice și electromagnetice sunt asemănătoare după legități, dar nu și după natură. De exemplu, dacă una dintre pricinile oscilațiilor mecanice este inerția corpului, care este caracterizată de masa lui, atunci una dintre pricinile oscilațiilor electromagnetice este câmpul electric turbionar, care este caracterizat de FEM de autoinducție. Anume datorită câmpului turbionar, și nu a inerției electronii își continuă mișcarea sa în direcție inițială și «reîncarcă» condensatorul. Masa și mersul în gol al electronilor sunt atât de mici, încât fără FEM de autoinducție curentul practic momentan ar fi încetat și condensatorul niciodată nu s-ar fi reîncărcat.

3 De ce formula lui Thomson este consecință a legii conservării energiei

Să demonstrăm formula lui Thomson, bazându-ne pe legea conservării energiei. Ne vom folosi de următoarele fapte.

1. Conform definiției intensitatea curentului este egală cu sarcina, care trece prin secțiunea transversală a conductorului într-o unitate de timp $I = \frac{q}{t}$. Intensitatea curentului în conturul oscilant variază permanent, de aceea în momentul dat de timp intensitatea curentului este egală cu: $i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = q'(t)$. Corespunzător viteza variației intensității curentului este egală cu: $i'(t) = q''(t)$.

2. Energia totală a conturului oscilant în orice moment de timp este egală cu suma energiilor câmpurilor magnetic și electric:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}.$$

Această energie nu se schimbă cu timpul (conturul oscilant este ideal), de aceea derivata energiei totale în raport cu timpul este egală cu zero:

$$\left(\frac{Li^2}{2}\right)' + \left(\frac{q^2}{2C}\right)' = 0, \text{ sau } \left(\frac{Li^2}{2}\right)' = -\left(\frac{q^2}{2C}\right)'.$$

Ultima formulă înseamnă, că viteza variației energiei câmpului magnetic este egală ca modul cu viteza variației energiei câmpului electric; semnul «minus» înseamnă, că în timpul în care energia câmpului electric crește, energia câmpului magnetic scade, și invers.

Aplicând regulile aflării derivatelor, obținem: $\frac{L}{2} \cdot 2ii' = -\frac{1}{2C} \cdot 2qq'$, sau $Li i' = -\frac{1}{C} \cdot qq'$.

Ținând cont, că $i = q'$, iar $i' = q''$, avem: $Lq'q'' = -\frac{1}{C} \cdot qq'$. De aici:

$$q'' = -\frac{1}{LC} \cdot q. \quad (1)$$

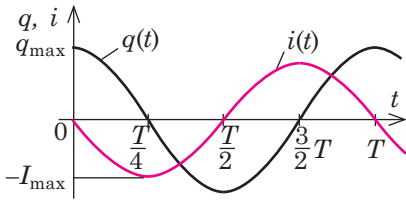


Fig. 18.3. Graficele oscilațiilor electromagnetice într-un contur oscilant ideal: $q(t)$ — graficul dependenței sarcinii de pe armăturile condensatorului de timp; $i(t)$ — graficul dependenței intensității curentului în contur de timp

Atrageți atenția!

Conform definiției perioada oscilațiilor este egală cu timpul unei oscilații și se determină după formula:

$$T = \frac{t}{N}$$

Însă și în sistemele oscilatorii electromagnetice și în cele mecanice perioada oscilațiilor proprii nu depinde nici de numărul de oscilații N nici de timpul oscilațiilor t , nici de faptul, care energie și prin ce metodă este transmisă sistemului. Perioada oscilațiilor proprii se determină numai de parametrii sistemului:

■ perioada oscilațiilor *pendulului matematic* este determinată de lungimea firului l și de accelerația căderii libere g în câmpul gravitațional, în care este situat pendulul, și nu depinde de masa pendulului:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

■ perioada oscilațiilor *pendulului elastic* este determinată de masa greutății m și de rigiditatea resortului k :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

■ perioada oscilațiilor în *conturul oscilant* este determinată de capacitatea electrică C și de inductanța bobinei L :

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Ecuția (1) este ecuație diferențială de ordinul doi, a cărei soluție, după cum se știe din matematică, este funcția cosinus (sinus). Într-adevăr, dacă $q = q_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0)$, atunci $q' = -q_{\max} \omega \sin(\omega t + \varphi_0)$, $q'' = -q_{\max} \omega \cdot \omega \cos(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 q_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0)$, adică:

$$q'' = -\omega^2 q. \quad (2)$$

Astfel, sarcina pe armăturile condensatorului unui contur oscilant ideal variază conform legii armonice, și ecuația oscilațiilor sarcinii are aspectul:

$$q = q_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0),$$

unde q_{\max} — valoarea amplitudinii sarcinii de pe armăturile condensatorului; ω — frecvența ciclică a oscilațiilor; φ_0 — faza inițială a oscilațiilor.

Ținând cont de expresiile (1) și (2), obținem: $\omega^2 = \frac{1}{LC}$, adică $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Deoarece perioada oscilațiilor $T = \frac{2\pi}{\omega}$, avem **formula lui Thomson**:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Atrageți atenția:

1) dacă în momentul inițial al observării sarcina de pe armăturile condensatorului este maximă, atunci ecuația oscilațiilor sarcinii are aspectul $q = q_{\max} \cos \omega t$, iar *graficul oscilațiilor sarcinii reprezintă o cosinusoidă* (fig. 18.3);

2) intensitatea curentului și sarcina electrică de pe armăturile condensatorului sunt legate prin corelația:

$$i(t) = q'(t) = -q_{\max} \omega \sin \omega t = -I_{\max} \sin \omega t = I_{\max} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \text{ unde } I_{\max} = q_{\max} \omega \text{ — valoarea amplitudinii intensității curentului în contur.}$$

Oscilațiile intensității curentului în contur devansează oscilațiile sarcinii de pe armăturile condensatorului cu faza $\frac{\pi}{2}$, adică cu un sfert de perioadă $\left(\varphi = \omega t = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2} \right)$ (vezi fig. 18.3).

4 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Tensiunea maximă de pe armăturile unui condensator al conturului oscilant ideal atinge 1,0 kV. Care este perioada oscilațiilor electromagnetice în contur, dacă pentru o valoare a amplitudinii intensității curentului electric egală cu 1,0 A energia câmpului magnetic al conturului este de 1,0 mJ?

Se dă:

$$U_{\max} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$I_{\max} = 1,0 \text{ A}$$

$$W_{m.\max} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

T — ?

Căutarea modelului matematic, rezolvarea. Pentru determinarea perioadei oscilațiilor electromagnetice ne vom folosi de formula lui Thomson $T = 2\pi\sqrt{LC}$ și de legea conservării energiei:

$$W_{el.\max} = W_{m.\max}$$

$$1) \text{ Deoarece } W_{m.\max} = \frac{LI_{\max}^2}{2}, \text{ atunci } L = \frac{2W_{m.\max}}{I_{\max}^2}.$$

$$2) \text{ Deoarece } W_{el.\max} = \frac{CU_{\max}^2}{2}, \text{ atunci } C = \frac{2W_{el.\max}}{U_{\max}^2} = \frac{2W_{m.\max}}{U_{\max}^2} \text{ (doar } W_{el.\max} = W_{m.\max} \text{)}.$$

$$3) \text{ După formula lui Thomson: } T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{\frac{2W_{m.\max}}{I_{\max}^2} \cdot \frac{2W_{m.\max}}{U_{\max}^2}} = 4\pi \frac{W_{m.\max}}{I_{\max}U_{\max}}.$$

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[T] = \frac{\text{J}}{\text{A} \cdot \text{V}} = \frac{\text{J} \cdot \text{C}}{\text{A} \cdot \text{J}} = \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{A}} = \text{s}; \quad T = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 10^3} \approx 13 \cdot 10^{-6} (\text{s}).$$

Răspuns: $T \approx 13 \text{ } \mu\text{s}$.



Facem totalurile

- Conturul oscilant — dispozitivul fizic, care este compus din condensator și bobină de inductanță unite în serie.
- Dacă armăturilor condensatorului unui contur oscilant li se va transmite sarcină electrică, atunci în contur vor lua naștere oscilații electromagnetice libere — variații periodice ale sarcini pe armăturile condensatorului și variații periodice ale intensității curentului în bobină. În timpul oscilațiilor electromagnetice libere energia câmpului electric al condensatorului se transformă în energie a câmpului magnetic al bobinei și invers.
- Modelul fizic, ce reprezintă în sine un contur oscilant, în care lipsesc pierderile de energie se numește contur oscilant ideal.

— oscilațiile electromagnetice libere sunt neamortizate;

— perioada oscilațiilor proprii se determină după formula lui Thomson:

$$T = 2\pi\sqrt{LC};$$

— legea conservării energiei are forma: $W_{el.\max} = W_{el} + W_m = W_{m.\max}$.



Întrebări pentru control

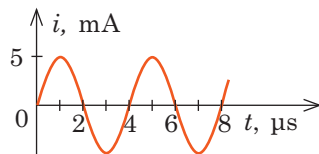
1. Numiți elementele principale ale conturului oscilant.
2. Descrieți procesul oscilațiilor electromagnetice libere în conturul oscilant.
3. De ce după descărcarea completă a condensatorului curentul nu încetează să treacă prin bobină?
4. Ce transformări de energie au loc în timpul oscilațiilor electromagnetice în conturul

oscilant? **5.** Care contur oscilant se numește ideal? **6.** Scrieți legea conservării energiei pentru conturul oscilant ideal. **7.** Obțineți formula lui Thomson, folosindu-vă de legea conservării energiei. **8.** Ce aspect are graficul oscilațiilor sarcinii pe armăturile condensatorului? graficul oscilațiilor intensității curentului în contur?



Exercițiul nr. 18

- Oare se va schimba, și dacă se va schimba, atunci cum, perioada și frecvența oscilațiilor electromagnetice libere într-un contur oscilant ideal, dacă: a) sarcina maximă pe armăturile condensatorului se va mări de 2 ori; b) capacitatea condensatorului se va micșora de 4 ori; c) inductanța bobinei se va mări de 9 ori?
- În figură este prezentat graficul oscilațiilor armonice ale intensității curentului într-un contur oscilant. Dacă bobina din acest contur oscilant va fi înlocuită cu o bobină cu inductanța de 4 ori mai mică, atunci perioada oscilațiilor va fi egală cu:
A 1 μs **B** 2 μs **C** 4 μs **D** 8 μs
- Cu ce este egală perioada oscilațiilor electromagnetice proprii în conturul oscilant al cărui inductanță este egală cu 1,5 mH, iar capacitatea — cu 15 μF ? Cum se va schimba rezultatul, dacă vor fi conectate în contur mai trei condensatoare de același fel: a) în paralel cu condensatorul dat; b) în serie cu condensatorul dat?
- Sarcina electrică de pe armăturile condensatorului unui contur oscilant variază după legea: $q(t) = 0,01 \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot 10^6 t\right)$ (mC). Capacitatea electrică a condensatorului — 144 pF. Determinați: a) faza inițială și frecvența ciclică a oscilațiilor; b) perioada și frecvența oscilațiilor; c) valoarea amplitudinilor sarcinii și intensității curentului; d) inductanța bobinei; e) energia câmpului electric al condensatorului și energia câmpului magnetic al bobinei peste $t = 2 \mu\text{s}$ de la începutul observării.
- Un contur oscilant ideal este compus dintr-un condensator cu capacitatea de 1,0 μF și o bobină cu inductanța de 10 mH. Care este sarcina maximă pe armăturile condensatorului, dacă intensitatea maximală a curentului în bobină constituie 100 mA? Rezolvați problema prin două metode.



Fizica și tehnica în Ucraina



Antonina Fiodorovna Prihotico (1906–1995) — emerită savantă-fiziciană ucraineană. Ea și-a început cercetările științifice în domeniul spectroscopiei corpului solid de temperaturi joase și a opticii cristalelor moleculare la institutul fizico-tehnic din Harkov (IFTH) sub conducerea primului director al institutului I. V. Obreimov. Anume pentru rezultatele renumite în acest domeniu savanta a obținut recunoaștere internațională, a fost decorată cu cele mai înalte mențiuni ale Uniunii Sovietice, a fost aleasă ca academician al Academiei Naționale de științe a Ucrainei.

Antonina Fiodorovna Prihotico a studiat fizica corpului solid și spectroscopia, a devenit fondatoarea școlii spectroscopiei de temperaturi joase a cristalelor moleculare. Ea prima a descoperit pe cale experimentală stările colective de excitare ale cristalelor moleculare (exitonii moleculari) și a pus baza fizicii stărilor excitonice. De prezidiumul ANȘ a Ucrainei este fondat premiul în numele lui A. F. Prihotico.

§ 19. CURENTUL ALTERNATIV. GENERATOARELE DE CURENT ALTERNATIV



Când aprindeți lumina acasă, camera este iluminată de o lumină strălucitoare uniformă, adică luminozitatea becului nu se schimbă. De ce atunci curentul, care trece prin filamentul becului noi îl numim alternativ?

1

Curentul electric alternativ

Oscilații electromagnetice forțate — acestea-s oscilațiile neamortizate ale sarcinii, tensiunii și intensității curentului, care sunt provocate de forța electromotoare ce variază periodic:

$$e = \mathcal{E}_{\max} \sin \omega t,$$

unde e — valoarea FEM în momentul dat de timp (valoarea momentană a FEM); \mathcal{E}_{\max} — valoarea amplitudinii FEM; ω — frecvența ciclică a FEM variabile (fig. 19.1).

Exemplu pregnant de oscilații forțate este *curentul electric alternativ*.

Curentul electric alternativ — curentul electric, a cărui intensitate variază după legea armonică:

$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0),$$

unde i — valoarea momentană a intensității curentului; I_{\max} — valoarea amplitudinii intensității curentului; ω — frecvența ciclică a curentului alternativ, care coincide frecvența FEM variabile; φ_0 — defazajul dintre oscilațiile curentului și oscilațiile FEM.

Spre deosebire de curentul continuu curentul alternativ tot timpul periodic își schimbă valoarea și direcția sa (fig. 19.1).

2

Cum de obținut FEM variabilă

Sursa de energie electrică care generează FEM ce variază periodic este numită **generator de curent alternativ**.

În calitate de generator de curent alternativ poate servi un cadru de sârmă, care se rotește într-un câmp magnetic uniform cu inducția \vec{B} cu o oarecare viteză unghiulară constantă ω (fig. 19.2, *a*). Să demonstrăm, că în aceste condiții în cadru va fi indusă FEM variabilă, care variază după legea armonică.

Conform definiției fluxul magnetic Φ , care străbate cadrul se calculează după formula: $\Phi = BS \cos \alpha$. Fie că în momentul inițial t_1 de măsurare a timpului aria cadrului este perpendiculară pe liniile de inducție magnetică (fig. 19.2, *a*, poziția *1*), adică unghiul dintre normala la planul cadrului și vectorul inducției magnetice este egal cu zero ($\alpha_0 = 0$). Dacă cadrul se va roti în câmpul magnetic, unghiul va varia după legea: $\alpha = \omega t$. Deci, corespunzător va varia și fluxul magnetic: $\Phi = BS \cos \omega t$.

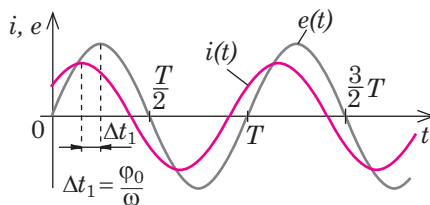


Fig. 19.1. Graficele dependențelor de timp a FEM $e(t)$ și a intensității curentului alternativ $i(t)$; φ_0 — defazajul dintre oscilațiile intensității curentului și oscilațiile FEM

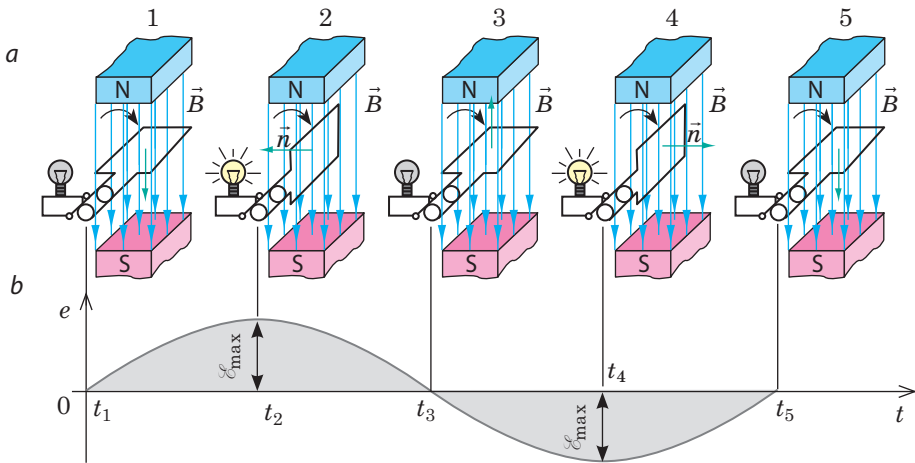


Fig. 19.2. Generarea FEM variabile de inducție în cadrul, care se rotește în câmpul magnetic al unui magnet permanent: *a* — variația fluxului magnetic, care străbate cadrul; *b* — graficul $e(t)$ — graficul dependenței FEM de timp

Conform legii lui Faraday în cadru va lua naștere FEM de inducție:

$$e(t) = -\Phi'(t) = -(BS\cos\omega t)' = -(-BS\omega\sin\omega t) = BS\omega\sin\omega t = \mathcal{E}_{\max}\sin\omega t,$$

unde $\mathcal{E}_{\max} = BS\omega$ — valoarea amplitudinii FEM de inducție.

FEM de inducție va atinge valoarea maximă în momentele de timp t_2 și t_4 , când cadrul va fi amplasat de-a lungul liniilor inducției magnetice, adică când $\alpha = 90^\circ$ (fig. 19.2, *a*, poziția 2 și 4), și se va transforma în zero în momentele de timp t_1, t_3, t_5 , când cadrul va fi amplasat perpendicular pe liniile inducției magnetice, adică când $\alpha = 0$ sau când $\alpha = 180^\circ$ (fig. 19.2, *a*, poziția 1, 3, 5).

Dacă cadrul conține nu una, dar N spire de sârmă, atunci FEM de inducție va egală cu:

$$e(t) = -N\Phi'(t) = NBS\omega\sin\omega t = \mathcal{E}_{\max}\sin\omega t,$$

unde $\mathcal{E}_{\max} = NBS\omega$ — valoarea amplitudinii FEM.

3 Cum de obținut curentul alternativ

Dacă unim cadrul de sârmă, care se rotește într-un câmp magnetic, cu ajutorul unor contacte speciale cu o sarcină activă (de exemplu, cu un bec de incandescență), atunci circuitul electric va fi închis și în circuit va apărea curent electric alternativ. Sursă de curent în circuit va servi cadrul rotativ, iar consumator — becul.

În concordanță cu legea lui Ohm pentru un circuit închis intensitatea curentului în bec se determină după formula:

$$i(t) = \frac{e}{R+r} = \frac{\mathcal{E}_{\max}\sin\omega t}{R+r} = \frac{\mathcal{E}_{\max}}{R+r}\sin\omega t = I_{\max}\sin\omega t,$$

unde R — rezistența sarcinii active; r — rezistența sursei (cadrului);

$I_{\max} = \frac{\mathcal{E}_{\max}}{R+r}$ — valoarea amplitudinii intensității curentului.

Deoarece curentul este alternativ strălucirea filamentului becului cu incandescență trebuie să se schimbe periodic. Însă, dacă frecvența variației curentului este suficient de mare, variațiile strălucirii nu se vor observa.

Atrageți atenția: în circuitele, care au capacitate și inductanță, fazele oscilațiilor intensității curentului și FEM nu coincid (vezi fig. 19.1), de aceea în cazul general valoarea momentană a intensității curentului se calculează după formula:

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0).$$

4 Generatoarele de curent alternativ

Cel mai simplu generator de curent alternativ cu inducție (fig. 19.3) este compus dintr-un miez metalic, în ale cărui creștături este amplasată înfășurarea (în fig. 19.3, *b* această parte este înlocuită cu cadrul); capetele înfășurării sunt unite cu inelele de contact, iar pe fiecare din ele este apăsată peria menită pentru furnizarea tensiunii la consumator; miezul cu înfășurarea se rotește în câmpul magnetic imobil al magnetului permanent sau al electromagnetului. Partea rotativă a generatorului se numește *rotor*, cea imobilă — *stator*.

Însă generatorul cu așa o construcție are o serie de neajunsuri:

1) în cazul luării unor curenți de tensiune înaltă apare o scânteiere puternică în contactele mobile (inel — perie), ceea ce duce la pierderi de energie considerabile și uzura timpurie;

2) frecvența curentului alternativ este suficient de mare (în majoritatea țărilor lumii $\nu = 50$ Hz), deci rotorul trebuie să se rotească cu frecvența de 50 rot/s, ceea ce este greu de realizat în practică.

Pentru obținerea FEM de inducție nu are importanță ce va servi în calitate de rotor — cadrul, care se rotește în câmpul magnetic al electromagnetului imobil, sau electromagnetul, care se rotește în interiorul cadrului imobil. Și într-un caz și în altul fluxul magnetic, care străbate cadrul variază. Însă intensitatea curentului din înfășurările electromagnetului este considerabil mai mică decât intensitatea curentului pe care o debitează generatorul în circuitul exterior. De aceea

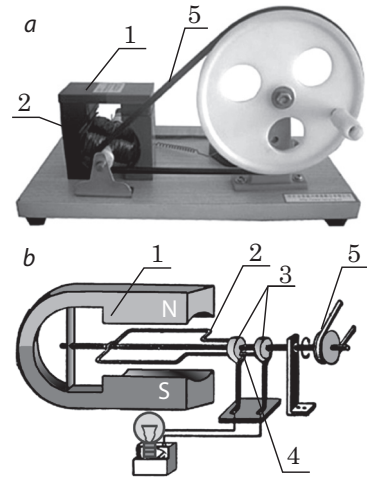


Fig. 19.3. Aspectul exterior (*a*) și construcția (*b*) a celui mai simplu generator de curent alternativ: 1 — magnet permanent; 2 — miez cu înfășurarea (cadrul de sârmă), care se rotește cu ajutorul curelei de transmisie; 3 — inele; 4 — periuțe; 5 — curea de transmisie

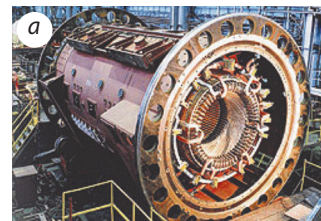


Fig. 19.4. Aspectul exterior al generatorului (*a*) și schema structurală a generatorului cvadripolar (*b*): 1 — miezul rotorului; 2 — înfășurarea rotorului; 3 — miezul statorului; 4 — înfășurarea statorului

în generatoarele puternice moderne (fig. 19.4) electromagnetul este rotor, care reprezintă prin sine un cilindru mare în ale cărui creștături este montată înfășurarea. La înfășurarea electromagnetului prin colector se transmite tensiunea de la o sursă de curent continuu — excitator. Înfășurările statorului, în care se creează FEM de inducție sunt montate în creștăturile unui cilindru metalic greu gol și imobil, confecționat ca și miezul electromagnetului din plăci de oțel (pentru micșorarea curenților Foucault). Înfășurarea statorului este ușor de izolat, de la ea este mai simplu de furnizat un curent considerabil în circuitul exterior.

Viteza de rotație a rotorului poate fi micșorată, dacă se va folosi un electromagnet care are câteva perechi de poli magnetici. Frecvența ν a curentului alternativ, produs de generator, este legată cu frecvența de rotație n a rotorului generatorului prin corelația:

$$\nu = pn,$$

unde p — numărul de perechi de poli magnetici ai generatorului.

5 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Un cadru cu aria de 100 cm^2 conține 60 de spire de sârmă. Cadrul se rotește uniform cu frecvența de 120 rot/min într-un câmp magnetic uniform cu inducția de $0,025 \text{ T}$. În momentul inițial de calculare a timpului aria cadrului este perpendiculară pe liniile inducției magnetice. Scrieți ecuația dependenței fluxului magnetic, care străbate cadrul, de timp. Determinați valoarea FEM de inducție în cadru peste $\frac{1}{24}$ s după începutul observării. Aflați intensitatea maximă a curentului în cadru, dacă cadrul este unit cu o sarcină activă cu rezistența de 25 Ohm , iar rezistența cadrului — 5 Ohm .

Se dă:

$$S=0,01 \text{ m}^2$$

$$N=60$$

$$n=120 \text{ rot/min}=2 \text{ rot/s}$$

$$B=25 \text{ mT}$$

$$t = \frac{1}{24} \text{ s}$$

$$R=25 \text{ Ohm}$$

$$r=5 \text{ Ohm}$$

$$\Phi(t) \text{ — ?}$$

$$e\left(\frac{1}{24} \text{ s}\right) \text{ — ?}$$

$$I_{\max} \text{ — ?}$$

Analiza problemei fizice, rezolvarea.

1) În timpul rotației cadrului fluxul magnetic, care străbate cadrul variază după legea: $\Phi(t) = BS \cos \omega t$, unde $\omega = 2\pi n$ — viteza unghiulară de rotație a cadrului.

2) Datorită variației fluxului magnetic apare FEM de inducție: $e(t) = -N\Phi'(t)$. Valoarea momentană a FEM poate fi aflată, înlocuind în ecuația dependenței $e(t)$ valoarea corespunzătoare a lui t .

3) Conform legii lui Ohm valoarea maximă a intensității cu-

rentului de inducție este egală cu: $I_{\max} = \frac{\mathcal{E}_{\max}}{R+r}$.

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate: $[\omega] = \text{s}^{-1}$; $\omega = 2\pi \cdot 2 = 4\pi \text{ (s}^{-1}\text{)}$; $[\Phi] = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{Wb}$,
 $\Phi(t) = 0,025 \cdot 0,01 \cos 4\pi t = 2,5 \cdot 10^{-4} \cos 4\pi t \text{ (Wb)}$;

$$e(t) = -60 \cdot (2,5 \cdot 10^{-4} \cos 4\pi t)' = 60 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 4\pi \cdot \sin 4\pi t \approx 0,19 \sin 4\pi t \text{ (V)};$$

$$e\left(\frac{1}{24} \text{ s}\right) = 0,19 \sin\left(4\pi \cdot \frac{1}{24}\right) = 0,19 \sin \frac{\pi}{6} = 0,19 \cdot 0,5 = 0,095 \text{ (V)}, \quad \mathcal{E}_{\max} = 0,19 \text{ V};$$

$$[I_{\max}] = \frac{\text{V}}{\text{Ohm} + \text{Ohm}} = \frac{\text{V} \cdot \text{A}}{\text{V}} = \text{A}; \quad I_{\max} = \frac{0,19}{25+5} \approx 0,006 \text{ (A)}.$$

$$\text{Răspuns: } \Phi(t) = 2,5 \cdot 10^{-4} \cos 4\pi t \text{ (Wb)}; \quad e\left(\frac{1}{24} \text{ s}\right) = 95 \text{ mV}; \quad I_{\max} \approx 6 \text{ mA}.$$



Facem totalurile

• Oscilații electromagnetice forțate se numesc oscilațiile neamortizate ale sarcinii, tensiunii și intensității curentului, care sunt provocate de FEM ce variază periodic: $e = \mathcal{E}_{\max} \sin \omega t$. Exemplu de oscilații forțate este curentul electric alternativ, a cărui intensitate variază după legea armonică: $i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$.

• Într-un cadru conductor cu aria S , care se rotește într-un câmp magnetic uniform cu inducția B cu o oarecare viteză unghiulară ω , este indusă FEM variabilă: $e(t) = -N\Phi'(t) = NBS\omega \sin \omega t = \mathcal{E}_{\max} \sin \omega t$, unde N — numărul de spire în cadru.

• Dacă unim cadrul, cu o sarcină activă R , atunci în circuit va apărea curent electric alternativ: $i(t) = \frac{\mathcal{E}_{\max}}{R+r} \sin \omega t = I_{\max} \sin \omega t$, unde r — rezistența cadrului.

• Curentul electric alternativ este produs de generatoarele de curent alternativ — sursele de energie electrică, care creează FEM ce variază periodic.

Întrebări pentru control



1. Dați definiția oscilațiilor electromagnetice forțate. **2.** Care curent se numește alternativ? **3.** De ce într-un cadru, ce se rotește în câmp magnetic apare FEM variabilă? **4.** Oare depinde, și dacă depinde, atunci în ce mod valoarea maximă a FEM variabile de viteza unghiulară a rotației cadrului? aria cadrului? numărul de spire în cadru? rezistența cadrului? **5.** De ce în cadru, dacă el este închis, apare curent? De ce factori depinde intensitatea acestui curent? Care este sursa de curent într-un astfel de circuit? **6.** Descrieți construcția celui mai simplu generator de curent electric alternativ. De ce astfel de tipuri de generatoare n-au cunoscut o răspândire largă? **7.** Descrieți construcția și particularitățile principale ale generatoarelor de curent alternativ contemporane.



Exercițiul nr. 19

- Determinați câte perechi de poli magnetici au rotoarele generatoarelor stații hidroelectrice Dnipro, dacă efectuând 83,3 rot/min, ele produc un curent cu frecvența de 50 Hz (frecvență standard a curentului alternativ în rețelele de consumatori).
- În cadrul, care are 50 de spire de conductor și se rotește uniform într-un câmp magnetic omogen, fluxul inducției magnetice variază după legea: $\Phi(t) = 2,0 \cdot 10^{-3} \cos 100\pi t$. Cadrul are rezistența de 2 Ohm și este închis de o rezistență activă de 10 Ohm. Scrieți ecuația dependenței $e(t)$ și $i(t)$. Aflați: a) valoarea FEM în cadru peste 5,0 ms după începutul observării; b) intensitatea maximă a curentului în cadru; c) intensitatea curentului peste 1,0 μ s după începutul observării.
- În momentul de timp, când aria cadrului este perpendiculară pe liniile inducției magnetice, fluxul magnetic, ce străbate suprafața cadrului este maximal. De ce atunci în acest moment FEM de inducție este egală cu zero?
- Un cadru dreptunghiular de sârmă cu dimensiunile 20×30 cm, care conține 20 de spire din sârmă de cupru cu diametrul de 1 mm, este situat într-un câmp magnetic omogen cu inducția de 0,5 T. Cadrul este închis cu rezistorul cu rezistența de 6,60 Ohm și i se comunică rotații cu frecvența de 10 rot/s. Determinați intensitatea maximală a curentului care apare în cadru, dacă axa de rotație a cadrului este perpendiculară pe liniile inducției magnetice.
- Alcătuți planul efectuării experienței pentru determinarea inducției magnetice a câmpului, în care se rotește cadrul prin care trece curent.

§ 20. REZISTENȚELE ACTIVĂ, CAPACITIVĂ ȘI INDUCTIVĂ ÎN CIRCUITUL DE CURENT ALTERNATIV



Valorile momentane ale intensității curentului alternativ variază permanent — periodic este egală cu zero, periodic atinge valoarea maximă. De ce atunci noi spunem, de exemplu: «Intensitatea curentului în filamentul becului electric este de 0,27 A», «Tensiunea în elementul încălzitor al fierului de călcat este de 220 V?» Să clarificăm despre care valori a tensiunii și intensității curentului alternativ merge vorba.

1 Care rezistență este numită activă

Studiind curentul continuu, voi ați aflat, că toate conductoarele (cu excepția semiconductoarelor) au rezistență electrică. Conductoarele opun rezistență și curentului alternativ, însă în circuitele curentului alternativ, spre deosebire de cel continuu, există diferite feluri de rezistențe, care pot fi împărțite în două grupe — rezistențe active și rezistențe reactive.

Elementul circuitului electric are **rezistență activă** R , dacă în timpul trecerii prin el a curentului electric o parte din energia electrică se consumă pentru încălzire: $Q = I^2 R t$.

Orice element al circuitului electric atât a celui continuu, cât și a celui alternativ (conductoarele de conexiune, elementele încălzitoare, înfășurările motoarelor, generatoarelor ș.a.) are rezistență activă (noi o numim simplu rezistență).

Fie că circuitul electric (fig. 20.1, a) este compus din conductoare de conexiune, o sarcină de inductanță mică și o rezistență activă considerabilă R ; o sursă de curent alternativ, a cărei tensiune la ieșire variază conform legii armonice:

$$u(t) = U_{\max} \sin \omega t.$$

Conform legii lui Ohm intensitatea curentului în circuit la fel variază după legea armonică:

$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{U_{\max} \sin \omega t}{R} = I_{\max} \sin \omega t, \text{ unde } I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R}.$$

În elementele circuitului electric, care au numai rezistență activă, oscilațiile intensității curentului și tensiunii coincid după fază (fig. 20.1, b).

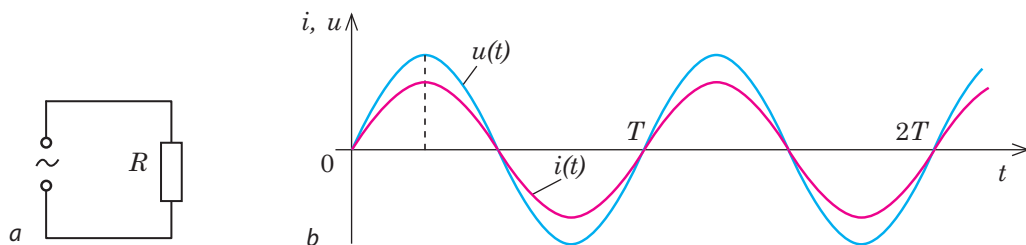


Fig. 20.1. Rezistența activă în circuitul de curent alternativ: a — schema electrică a circuitului; b — graficele dependențelor de timp a intensității curentului $i(t)$ și tensiunii $u(t)$. Intensitatea curentului și tensiunea concomitent obțin valorile maxime și concomitent devin egale cu zero

2 Cum de determinat valorile efective ale intensității curentului și tensiunii

Este incomod de apreciat acțiunea curentului alternativ după valoarea momentană a intensității curentului — ea permanent variază. Nu se poate pentru aceasta folosi și valoarea medie a intensității curentului, deoarece media, calculată pe baza variațiilor obținute de ea în decursul unei perioade este egală cu zero (fig. 20.1, b). Acțiunea curentului alternativ este primit de-o apreciat după valoarea efectivă (eficace) a intensității curentului.

Admitem, că avem două becuri identice cu rezistența R fiecare. Un bec a fost legat la o sursă de curent continuu, al doilea — la o sursă de curent alternativ (fig. 20.2). Deplasând cursorul reostatului trebuie de obținut ca incandescența ambelor becuri să fie la fel. Aceasta înseamnă, că valoarea medie a puterii curentului alternativ este egală cu puterea curentului continuu: $p_{med} = P$.

Valoarea efectivă a intensității curentului alternativ

I_{ef} este egală cu acea valoare a intensității curentului continuu I , la care în aceeași rezistență activă se degajă puterea P , ce este egală cu puterea medie a curentului alternativ p_{med} : dacă $I_{ef} = I$, atunci $p_{med} = P$.

Puterea curentului continuu, pe care o consumă becul cu rezistența activă R poate fi calculată după formula: $P = I^2 R$.

Vom afla valoarea medie a puterii curentului alternativ. Pe un interval de timp infinit de mic intensitatea curentului poate fi considerată constantă, de aceea puterea momentană de asemenea poate fi calculată după formula: $p = i^2 R$, unde $i = I_{max} \sin \omega t$ — valoarea momentană a intensității curentului. De aici:

$$p = I_{max}^2 R \sin^2 \omega t = I_{max}^2 R \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} = \frac{I_{max}^2 R}{2} - \frac{I_{max}^2 R}{2} \cos 2\omega t.$$

Din graficul dependenței puterii instantanee a curentului alternativ de timp (fig. 20.3) vedem, că valoarea medie a puterii în decursul unei perioade este egală cu:

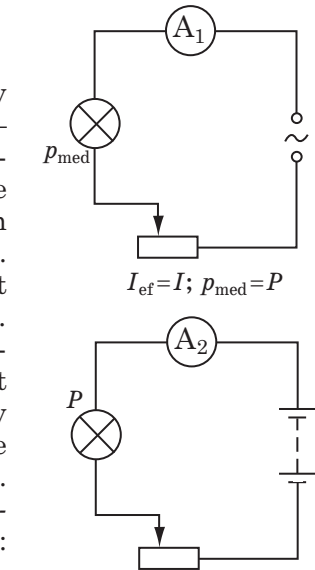
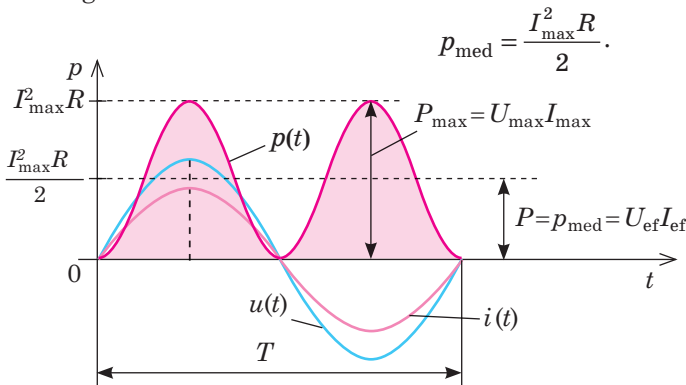


Fig. 20.2. Pentru introducerea noțiunii «valoarea efectivă a intensității curentului»

Fig. 20.3. Rezistența activă în circuitul de curent alternativ: graficul $p(t)$ — graficul dependenței puterii (active) de timp

Atrageți atenția!

■ Dacă circuitul de curent alternativ conține numai rezistență activă sau dacă rezistența reactivă a circuitului este egală cu zero, atunci cantitatea de căldură Q , care se degajă în timpul trecerii curentului, lucrul A și puterea P a curentului alternativ se calculează după formulele corespunzătoare pentru curentul continuu:

$$Q = I_{ef}^2 R t, \quad A = U_{ef} I_{ef} t,$$

$$P = U_{ef} I_{ef},$$

unde I_{ef} și U_{ef} — valorile efective ale intensității curentului și tensiunii.

■ Dacă rezistența reactivă nu este egală cu zero, atunci intensitatea curentului și tensiunea nu coincid după fază (au un anumit defazaj φ). În așa caz lucrul și puterea curentului alternativ se determină după formulele:

$$A = U_{ef} I_{ef} t \cos \varphi;$$

$$P = U_{el} I_{el} \cos \varphi,$$

unde $\cos \varphi = R / Z$ — coeficientul puterii, R și Z — rezistențele activă și totală a circuitului corespunzător.

Deoarece $P = p_{med}$, avem: $I^2 R = \frac{I_{max}^2 R}{2}$.

De unde valoarea efectivă a intensității curentului alternativ este egală cu:

$$I_{ef} = I = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}.$$

Analogic valoarea efectivă a tensiunii alternative este egală cu:

$$U_{ef} = U = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}.$$

În practică pentru caracteristica parametrilor curentului alternativ se folosesc anume valorile efective ale intensității curentului și ale tensiunii. De exemplu, când se spune, că tensiunea în rețeaua de curent alternativ este de 220 V, iar intensitatea curentului în circuit — 25 A, aceasta înseamnă că valoarea efectivă a tensiunii în rețea este de 220 V, iar valoarea efectivă a intensității curentului — 25 A. Ampermetrele și voltmetrele de curent alternativ măsoară anume valorile efective ale intensității curentului și a tensiunii.

3 Rezistența reactivă în circuitul de curent alternativ

Condensatorul și bobina de inductanță introduse în circuitul de curent alternativ opun o rezistență suplimentară curentului. Această rezistență se numește *reactivă*, deoarece pentru depășirea ei nu se pierde energia sursei de alimentare. Un sfert de perioadă bobina și condensatorul iau energia de la sursă, următorul sfert de perioadă energia este înapoiată sursei.

Felurile de rezistență reactivă

Reactanță inductivă X_L — mărimea fizică, care caracterizează rezistența conductorului opusă curentului electric, provocat de acțiunea FEM de autoinducție:

$$X_L = \omega L,$$

unde ω — frecvența ciclică a curentului alternativ; L — inductanța conductorului.

Reactanță capacitivă X_C — mărimea fizică, care caracterizează capacitatea condensatorului de a se opune curentului electric alternativ:

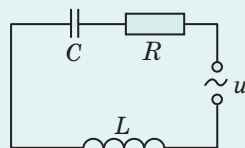
$$X_C = \frac{1}{\omega C},$$

unde ω — frecvența ciclică a curentului alternativ; C — capacitatea condensatorului.

Rezistența totală a circuitului, care conține rezistență activă, reactanțele inductivă și capacitivă se calculează după formula:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Diferența $\omega L - \frac{1}{\omega C}$ se numește **rezistență reactivă**.





Facem totalurile

• Elementul circuitului electric are rezistență activă R , dacă în timpul trecerii prin el a curentului electric o parte din energia electrică se consumă pentru încălzire: $Q = I^2 R t$.

• Dacă circuitul electric are numai o rezistență activă R iar tensiunea la ieșirea sursei de curent variază conform legii armonice $u = U_{\max} \sin \omega t$, atunci intensitatea curentului în circuit la fel variază după legea armonică:

$i = I_{\max} \sin \omega t$, unde $I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R}$. Totodată oscilațiile intensității curentului și tensiunii coincid după fază.

• Este primit de apreciat acțiunea curentului alternativ după valorile efective ale intensității curentului și tensiunii: $I_{\text{ef}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$; $U_{\text{ef}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$.



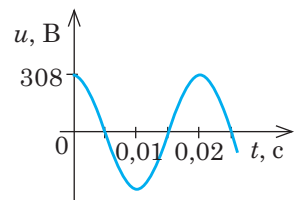
Întrebări pentru control

1. Care sunt tipurile principale de rezistențe în circuitele de curent alternativ? Dați definițiile lor. 2. Cum sunt legate intensitatea curentului și tensiunea în circuitul cu rezistență activă? 3. Ce este valoarea efectivă a intensității curentului? 4. Cum se calculează valorile efective ale intensității curentului și tensiunii? 5. Prezentați formula pentru calculul rezistenței inductive. De care factori ea depinde? 6. Dați definiția reactanței capacitive. De care factori ea depinde? 7. Cu ce este egală rezistența totală a circuitului?



Exercițiul nr. 20

- În circuitele de curent alternativ pentru iluminare se aplică o tensiune de 220 V.
 - Care este indicația voltmetrului conectat în circuit?
 - Care valoare maximală atinge tensiunea în circuit?
- Bobina cu inductanța de 20 mH este conectată într-un circuit de curent alternativ cu frecvența de 50 Hz. Determinați rezistența inductivă a bobinei.
- Pe o porțiune de circuit cu rezistența de 900 Ohm intensitatea curentului variază conform legii $i = 0,5 \sin 100\pi t$ (A). Determinați: a) valorile efective ale intensității curentului și tensiunii; b) puterea, care se dezvoltă pe porțiune; c) tensiunea, pentru care trebuie să fie calculată izolația conductoarelor. Scrieți ecuația dependenței $u(t)$.
- Un condensator cu capacitatea de 1 μF este conectat într-un circuit de curent alternativ cu frecvența de 50 Hz. Determinați intensitatea curentului pe porțiunea circuitului cu condensator, dacă rezistența conductoarelor de conexiune ale acestei porțiuni constituie 5 Ohm, iar tensiunea pe porțiune — 12 V.
- Pe desen este reprezentat graficul dependenței tensiunii de timp în rețea. În cât timp va fierbe apa dintr-un ceainic care conține 1,5 l de apă, dacă rezistența elementului încălzitor al ceainicului este de 20 Ohm, randamentul ceainicului este de 72%, temperatura inițială a apei este 20 °C, capacitatea termică specifică a apei 4200 J/kg·°C?
- După cum se știe, condensatorul reprezintă doi conductori despărțiți printr-un strat de dielectric.



Anume din această cauză, condensatorul conectat într-un circuit de curent continuu de fapt întrerupe circuitul și curentul în circuit lipsește. Aflați, de ce totuși noi studiem curentul alternativ într-un circuit cu condensator.

§ 21. TRANSMITEREA ȘI UTILIZAREA ENERGIEI CURENTULUI ALTERNATIV. TRANSFORMATORUL



Stație
de transformatoare

Unul dintre avantajele energiei electrice constă în aceea, că ea poate fi transmisă la distanțe mari, de exemplu, cu ajutorul conductoarelor. Însă în timpul transmiterii energiei sunt inevitabile pierderile ei, în particular pentru încălzire. Conform legii Joule — Lenz cantitatea de căldură care se degajă în conductoare este egală cu: $Q = I^2 R t$. Așadar, a micșora pierderile de energie pentru încălzire se poate: 1) micșorând rezistența conductoarelor; 2) micșorând intensitatea curentului. Să cercetăm, cum aceste posibilități se aplică în practică.

1 De ce tensiunea trebuie schimbată

Rezistența activă a conductorului este determinată de materialul, din care el este confecționat, lungimea lui și aria secțiunii transversale: $R = \frac{\rho l}{S}$. Așadar, pentru micșorarea rezistenței conductorului trebuie de micșorat rezistența specifică ρ a materialului, din care el este confecționat, sau de mărit aria S a secțiunii transversale a conductorului.

Mărirea ariei secțiunii transversale duce la mărirea considerabilă a masei conductoarelor, la cheltuieli suplimentare de material pentru confecționarea conductoarelor, a stâlpilor pentru liniile de transportare a energiei electrice și altele. Se poate de micșorat rezistența specifică, înlocuind conductorul din oțel cu unul din aluminiu, ceea ce și se face în cazul transmiterii energiei electrice la distanțe mari. Însă aceasta nu soluționează problema în întregime: în primul rând, aluminiul în comparație cu oțelul costă destul de scump; în al doilea rând, transmiterea unei puteri ($P = UI$) considerabile în cazul unei tensiuni relativ nu mari necesită o intensitate mare a curentului, de aceea chiar și la o rezistență mică pierderile sunt destul de mari.

Dacă aceeași putere va fi transmisă la o tensiune înaltă (respectiv la o intensitate mică a curentului), atunci pierderile de energie vor scădea considerabil. De exemplu, ridicarea tensiunii de 10 ori va avea ca consecință micșorarea de 10 ori a intensității curentului, deci cantitatea de căldură ce se va degaja în conductoare în timpul transmiterii se va micșora de 100 de ori. Anume din această cauză *înainte de a transmite energia electrică la distanțe mari trebuie de mărit tensiunea*. Și invers: *după ce energia a ajuns la consumator, tensiunea trebuie coborâtă*. Astfel de modificări a tensiunii se realizează cu ajutorul *transformatoarelor*.

2 Cum este construit transformatorul și care este principiul lui de lucru

Transformatorul (de la latin. *transformo* — transform) — dispozitiv electromagnetic, care transformă curentul alternativ de o anumită tensiune în curent alternativ de altă tensiune la frecvență constantă.

Cel mai simplu transformator este compus dintr-un miez închis (miez magnetic) și două bobine (fig. 21.1). Miezul este confecționat din plăci subțiri din oțel pentru transformator, bobinele — din sârmă de cupru. La una dintre bobine, care se numește *primară* și are N_1 spire de sârmă, se comunică tensiunea de la sursa de curent alternativ. La a doua bobină — *secundară*, care are N_2 spire de sârmă, — se conectează consumatorii de energie electrică.

Ațiunea transformatorului se bazează pe fenomenul inducției electromagnetice. Dacă bobina primară a transformatorului este conectată la sursa de curent alternativ, atunci curentul, care trece prin spirele ei creează în miezul închis un flux magnetic variabil Φ . Străbătând spirele bobinelor primară și secundară, fluxul magnetic variabil creează FEM de autoinducție e_1 în bobina primară și FEM de inducție e_2 în bobina secundară.

În conformitate cu legea inducției electromagnetice, FEM de inducție e , indusă în fiecare spiră ale înfășurărilor primară și secundară ale transformatorului, este:

$$e = -\Phi'(t).$$

Înfășurarea primară are N_1 spire de sârmă, cea secundară — N_2 spire, deci, $e_1 = -N_1\Phi'(t)$ și $e_2 = -N_2\Phi'(t)$ corespunzător. Deoarece FEM este generată de același flux magnetic, defazajul dintre FEM de inducție ale înfășurărilor primară și secundară este egal cu zero. De aceea în orice moment de timp

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2},$$

unde e_1 și e_2 — valorile momentane ale FEM, iar \mathcal{E}_1 și \mathcal{E}_2 — valorile efective ale FEM în înfășurările primară și secundară corespunzător. Din altă parte:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{-N_1\Phi'(t)}{-N_2\Phi'(t)} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Astfel, raportul valorilor efective ale FEM, induse în înfășurările primară și secundară ale transformatorului este egal cu raportul cantităților de spire din înfășurări:

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2} = k.$$

Mărimea k se numește **coeficient de transformare**.

Transformatorul se numește **coborător**, dacă coeficientul de transformare este mai mare decât unitatea ($k > 1$). În transformatoarele coborătoare înfășurarea secundară conține mai puține spire de sârmă, decât cea primară.

Transformatorul se numește **ridicător**, dacă coeficientul de transformare este mai mic decât unitatea ($k < 1$). În transformatoarele ridicătoare înfășurarea secundară conține mai multe spire de sârmă, decât cea primară.

3 Mersul în gol al transformatorului

Să cercetăm cum funcționează transformatorul, înfășurarea secundară a căruia este deschisă, adică transformatorul nu este încărcat (fig. 21.2). Funcționarea transformatorului neîncărcat se numește **mers în gol**.

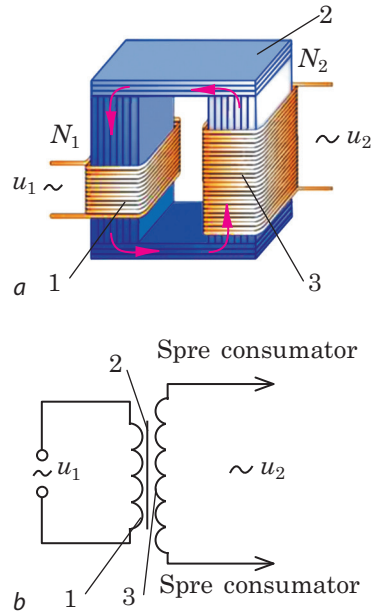


Fig. 21.1. Construcția (a) și schema electrică (b) a celui mai simplu (monofazat) transformator; 1 — înfășurarea primară a transformatorului; 2 — miez; 3 — înfășurarea secundară a transformatorului

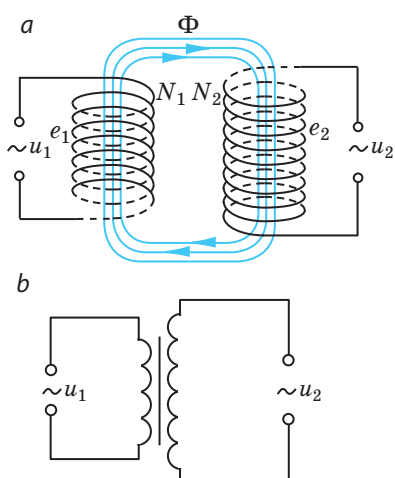


Fig. 21.2. Mersul în gol a transformatorului: *a* — schema dispozitivului; *b* — schema electrică

Înfășurarea primară a transformatorului este conectată la o sursă de curent alternativ, tensiunea de ieșire a căreia este u_1 . În timpul trecerii curentului în înfășurare apare FEM de autoinducție e_1 . Căderea de tensiune în înfășurarea primară este egală cu: $i_1 r_1 = u_1 + e_1$, unde r_1 — rezistența înfășurării, pe care o vom considera neglijabil de mică. Așadar, în orice moment de timp $u_1 \approx -e_1$, de aceea pentru valorile efective ale tensiunii și FEM avem egalitatea: $U_1 \approx \mathcal{E}_1$.

Prin înfășurarea secundară curentul nu trece (ea este deschisă), de aceea tensiunea la bornele înfășurării secundare este egală ca modul cu FEM de inducție ($u_2 + e_2 = 0$, $u_2 = -e_2$, corespunzător $U_2 = \mathcal{E}_2$).

Astfel, în regimul funcționării în gol este adevărată egalitatea:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2} = k.$$

Dacă numărul de spire în înfășurarea primară este mai mare decât în cea secundară ($k > 1$), atunci transformatorul coboară tensiunea ($U_1 > U_2$). Și invers: dacă numărul de spire în înfășurarea primară este mai mic decât în cea secundară ($k < 1$), atunci transformatorul ridică tensiunea ($U_1 < U_2$). Alegând raportul dintre numărul de spire în înfășurările primară și secundară se poate ridica sau coborî tensiunea de numărul necesar de ori.

Atrageți atenția:

1) transformatorul nu poate realiza transformarea tensiunii curentului continuu, deoarece în acest caz fluxul magnetic nu variază și FEM de inducție nu apare;

2) transformatorul nu se poate conecta la o sursă de curent continuu: rezistența înfășurării primare este mai mică, de aceea intensitatea curentului în ea va crește într-atâta, că transformatorul se va încălzi și se va deteriora.

4 Cum funcționează transformatorul cu sarcină

Dacă înfășurarea secundară a transformatorului se va conecta la un consumator, atunci în ea va apărea curent electric (fig. 21.3). Acest curent va provoca micșorarea fluxului magnetic în miez și, ca urmare, micșorarea FEM de autoinducție în înfășurarea primară. Ca urmare intensitatea curentului în înfășurarea

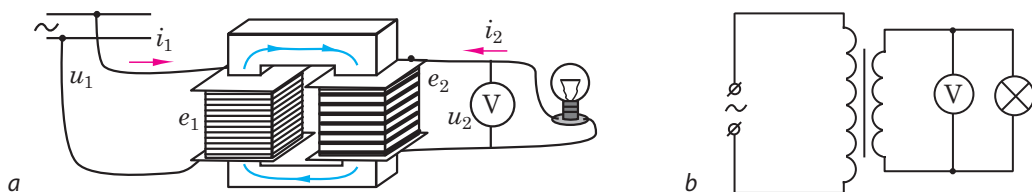


Fig. 21.3. Funcționarea transformatorului cu sarcină: *a* — schema instalației; *b* — schema electrică

primară se va mări și fluxul magnetic va crește până la valoarea anterioară. Cu cât sunt mai mari intensitatea curentului în înfășurarea secundară și puterea, care se transmite consumatorului, cu atât mai mari sunt intensitatea curentului în înfășurarea primară și puterea, care se consumă de la sursă.

În timpul funcționării transformatorului cu sarcină pentru valorile efective ale tensiunii și intensității curentului se adevărește egalitatea:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}.$$

Aceasta înseamnă, că în transformatorul ridicător intensitatea curentului este mai mare în înfășurarea primară ($U_1 < U_2 \Rightarrow I_1 > I_2$), iar în transformatorul coborâtor intensitatea curentului este mai mare în înfășurarea secundară ($U_1 > U_2 \Rightarrow I_2 > I_1$). Dacă transformatorul este *ideal* (pierderile de energie sunt egale cu zero), atunci de câte ori el ridică tensiunea, tot de atâtea ori el coboară intensitatea curentului, și invers.

5 Cum de mărit randamentul transformatorului

Într-un transformator, ca și într-un alt dispozitiv tehnic, există anumite pierderi de energie.

Raportul puterii P_2 , pe care transformatorul o furnizează consumatorului de energie electrică către puterea P_1 , pe care transformatorul a primit-o de la rețeaua de alimentare se numește **randamentul transformatorului**:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \%$$

Pierderile principale de energie în transformator și mijloacele tehnice ce sunt aplicate pentru micșorarea acestor pierderi, sunt indicate în tabel.

Pierderi de energie în transformator	Mijloacele de micșorare a pierderilor de energie
Degajarea căldurii în urma trecerii curentului electric în înfășurări.	Înfășurările transformatorului sunt confecționate din cupru de calitate superioară cu o arie a secțiunii transversale suficient de mare. O dată cu majorarea intensității curentului se mărește cantitatea de căldură, care se degajă în înfășurări, de aceea înfășurările de tensiune mai joasă sunt confecționate din sârmă cu diametrul mai mare.
Degajarea căldurii în urma apariției curenților Foucault în miezul, care tot timpul de lucru al transformatorului se află în câmp magnetic variabil.	Miezul este confecționat din tole sau din ferite, măbind în așa mod rezistența miezului și micșorând intensitatea curenților Foucault.
Emiterea energiei în formă de unde electromagnetice.	Miezul se confecționează închis și de așa o formă, care nu favorizează emiterea undelor electromagnetice.
Pierderile de energie pentru remagnetizarea miezului.	Miezul este confecționat din oțel de transformator, care ușor se remagnetizează.

Unele transformatoare datorită construcțiilor lor au randamentul de peste 99%.

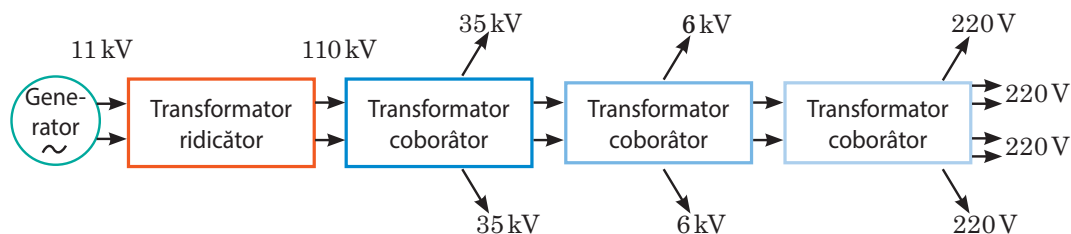


Fig. 21.4. Schema transmiterii și distribuirii energiei în rețeaua electrică

6 Aplicarea transformatoarelor

Transformatoarele ridicătoare sunt amplasate în apropierea generatoarelor de curent alternativ, instalate la centralele electrice. Aceasta permite transmiterea energiei electrice de tensiune înaltă (peste 500 kV) la distanțe mari, datorită cărui fapt pierderile de energie în conductoare se micșorează considerabil.

În locurile consumării energiei electrice sunt instalate transformatoare coborâtore, în care tensiunea înaltă care este furnizată de la linia de transportare a energiei electrice de tensiune înaltă, este coborâtă până la valori comparativ mici, cu care lucrează consumatorii de energie electrică (fig. 21.4).

Afară de sistemele de transmitere și distribuție a energiei electrice transformatoarele sunt utilizate în dispozitivele de redresare, în laboratoare pentru alimentarea radioaparaturii, conectarea aparatelor electrice de măsură la circuitele de tensiune înaltă, sudarea electrică ș.a.

7 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Înfășurarea primară a transformatorului, care conține 1500 de spire de sârmă, este conectată la un circuit de curent alternativ cu tensiunea de 220 V. Determinați numărul de spire în înfășurarea secundară a transformatorului, dacă ea va trebui să alimenteze un circuit cu tensiunea de 6,3 V și intensitatea curentului de 1,5 A. Sarcina este activă, rezistența înfășurării secundare — 0,20 Ohm. De neglijat rezistența înfășurării primare.

Se dă:

$$N_1 = 1500$$

$$U_1 = 220 \text{ V}$$

$$U_2 = 6,3 \text{ V}$$

$$I_2 = 1,5 \text{ A}$$

$$r_2 = 0,20 \text{ Ohm}$$

N_2 — ?

Analiza problemei fizice, rezolvarea.

$$\text{Pentru orice regim de lucru al transformatorului } \frac{N_1}{N_2} = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} \quad (1).$$

Deoarece rezistența înfășurării primare este neglijabil de mică, rezultă că $U_1 = \mathcal{E}_1$ (2). Circuitul înfășurării secundare este închis, sursă de energie electrică în el servește înfășurarea secundară cu rezistența

$$\text{activă } r_2, \text{ de aceea conform legii lui Ohm } I_2 = \frac{\mathcal{E}_2}{R + r_2}.$$

$$\text{De aici } \mathcal{E}_2 = I_2(R + r_2) = I_2R + I_2r_2 = U_2 + I_2r_2 \quad (3).$$

$$\text{Înlocuind (2) și (3) în formula (1), avem: } \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2 + I_2r_2} \Rightarrow N_2 = N_1 \frac{U_2 + I_2r_2}{U_1}.$$

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[N_2] = \frac{\text{V} \cdot \text{A} \cdot \text{Ohm}}{\text{V}} = \frac{\text{V} \cdot \text{A} \cdot \text{V}/\text{A}}{\text{A}} = 1; \quad N_2 = \frac{1500(6,3 + 1,5 \cdot 0,20)}{220} = 45.$$

Analiza rezultatelor. Transformatorul este coborâtor ($U_1 > U_2$), adică înfășurarea secundară trebuie să conțină mai puține spire decât cea primară. Deci rezultatul este real.

Răspuns: $N_2 = 45$.



Facem totalurile

• Transformatorul — dispozitiv electromagnetic, care transformă curentul alternativ de o anumită tensiune în curent alternativ de altă tensiune la frecvență constantă. El este compus dintr-un miez închis și două bobine amplasate pe el.

• În orice regim de lucru al transformatorului raportul valorilor efective ale FEM, induse în înfășurările primară și secundară este egal cu raportul cantităților de spire din înfășurări: $\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$, unde k — coeficient de transformare. Dacă $k > 1$, transformatorul este coborâtor; dacă $k < 1$ — ridicător.

• În regimul funcționării în gol se adevărește egalitatea: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$.

• Randamentul transformatorului se determină prin corelația: $\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \%$.

Dacă transformatorul este ideal, atunci $P_1 = P_2$ ($U_1 I_1 = U_2 I_2$), sau $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$, adică de câte ori el ridică tensiunea, tot de atâtea ori el coboară intensitatea curentului.



Întrebări pentru control

1. În ce constă avantajul energiei electrice, față de alte feluri de energie?
2. Care sunt principalele metode de micșorare a pierderilor de energie în timpul transportului ei?
3. Ce este transformatorul? Care este construcția lui? Pe care fenomen se bazează funcționarea lui?
4. Descrieți procesele fizice, care au loc în transformator în regimul mersului în gol; în regimul cu sarcină.
5. Cum de determinat coeficientul de transformare?
6. Care transformator se numește coborâtor? ridicător? Unde sunt utilizate astfel de transformatoare?
7. De ce transformatoarele nu pot fi conectate la surse de curent continuu?
8. Care sunt principalele pierderi de energie în timpul funcționării transformatorului? Cum ele pot fi reduse?
9. Cum se determină randamentul transformatorului?



Exercițiul nr. 21

1. În fig. 21.3 este reprezentat un bec conectat prin intermediul transformatorului la rețeaua de curent alternativ. Ce fel de transformator este acesta — ridicător sau coborâtor? De ce înfășurarea secundară este confecționată din sârmă mai groasă, decât cea primară?
2. Înfășurarea primară a transformatorului conține 1000 de spire de sârmă, cea secundară — 3500. În regimul funcționării în gol tensiunea în înfășurarea secundară — 105 V. Ce tensiune este furnizată transformatorului? Care este coeficientul de transformare?
3. Puterea, pe care o consumă un transformator constituie 90 W, tensiunea pe înfășurarea secundară — 12 V. Determinați intensitatea curentului în înfășurarea secundară, dacă randamentul transformatorului este de 75%.
4. Un transformator cu coeficientul de transformare 5 este conectat în rețeaua de curent alternativ cu tensiunea de 220 V. Determinați rezistența înfășurării secundare a transformatorului, dacă tensiunea la bornele ei este egală cu 42 V, iar intensitatea curentului — 4,0 A. Neglijați rezistența înfășurării primare.
5. De ce transformatorul vuieste? Care este frecvența principală a oscilațiilor sonore, dacă transformatorul este conectat într-o rețea industrială?

§ 22. UNDE ELECTROMAGNETICE. PROPRIETĂȚILE UNDELOR ELECTROMAGNETICE. EXPERIENȚELE LUI H. HERTZ



Astăzi nimeni nu este mirat de faptul, că spațiul înconjurător este străpuns de unde electromagnetice. Aceste unde sunt legate nu numai de legătura celulară, televiziune și radiocomunicație. Unde electromagnetice emit și diverse obiecte cosmice (stelele, nebuloasele, planetele etc.) și orice corp macro, inclusiv omul. Unele dintre aceste unde au apărut o clipă în urmă, iar altele există de la începutul existenței Universului. Să ne amintim, cine a prezis existența undelor electromagnetice și care sunt proprietățile acestor unde.



Fig. 22.1. James Clerk Maxwell (1831–1879) — fizician și matematician englez. A creat teoria câmpului electromagnetic, a prevăzut existența undelor electromagnetice, a stabilit natura electromagnetică a luminii

1 Cum ia naștere unda electromagnetică

Unda electromagnetică — aceasta-i propagarea în spațiu a oscilațiilor câmpului electromagnetic.

Teoretic undele electromagnetice le-a prezis *J. Maxwell* (fig. 22.1) în anul 1873. Analizând toate legile electrodinamicii, cunoscute la acea oră, el a ajuns la concluzia, că în natură trebuie să existe unde electromagnetice. Cu regret, Maxwell nu a trăit până la confirmarea experimentală a calculelor sale. Numai peste 9 ani de la moartea lui fizicianul german *H. Hertz* (fig. 22.1) a demonstrat emiterea și recepția undelor electromagnetice.

Să ne amintim, cum se formează și se propagă unda electromagnetică.

Luăm un conductor, prin care trece curentul alternativ. Lângă oricare conductor parcurs de curent există câmp magnetic. Câmpul magnetic, creat de curentul alternativ, de asemenea este variabil. Conform teoriei lui Maxwell câmpul magnetic variabil trebuie să creeze câmp electric, care la fel va fi variabil; câmpul electric variabil va crea câmp magnetic variabil ș.a.m.d. Deci, vom obține propagarea oscilațiilor câmpului electromagnetic — o undă electromagnetică (fig. 22.3). Frecvența ν a acestei unde este egală cu frecvența, cu care variază intensitatea curentului în conductor, iar *conductorul cu curent alternativ este sursă a undelor electromagnetice*.

După teoria lui Maxwell, *sursă a undei electromagnetice poate fi orice particulă încărcată, care se mișcă cu accelerație*. Dacă însă particula este imobilă sau se mișcă cu viteză constantă, lângă ea există câmp electromagnetic, însă undă electromagnetică particula nu emite. De emitere a undelor



Fig. 22.2. Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894) — fizician german. A demonstrat pe cale experimentală existența undelor electromagnetice, a studiat proprietățile lor

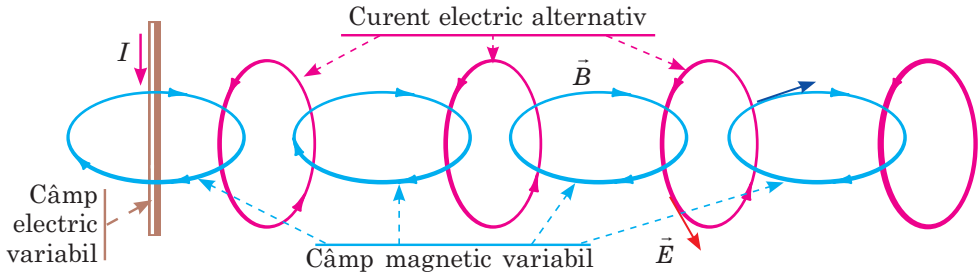


Fig. 22.3. Reprezentarea schematică a mecanismului propagării undelor electromagnetice

electromagnetice sunt însoțite și unele procese, ce au loc în interiorul moleculelor, atomilor, nucleelor atomilor (teoria a asemenea procese — *teoria cuantică* — a fost creată în sec. XX).

Analogic faptului cum unda mecanică se poate desprinde de la sursa sa (amintiți-vă propagarea unei sonore și ecoul), unda electromagnetică de asemenea se poate desprinde de la sursa sa și începe «să călătorească» de sine stătător în spațiu.

2 Care mărimi fizice caracterizează unda electromagnetică

- Unda electromagnetică ca proces de propagare a câmpului electromagnetic se caracterizează în primul rând de vectorul intensității \vec{E} a câmpului electric și vectorul inducției magnetice \vec{B} . Orice undă este periodică și în timp, și în spațiu, de aceea aceste mărimi variază periodic și o dată cu timpul, și o dată cu variația distanței de la sursa undei. Conform teoriei lui Maxwell vectorii \vec{E} și \vec{B} concomitent ating valoarea maximă și concomitent se transformă în zero, totodată ei sunt perpendiculari atât unul față de altul, cât și pe direcția de propagare a undei (fig. 22.4). Deci, unda electromagnetică — undă transversală:

$$\vec{E} \perp \vec{B}, \quad \vec{E} \perp \vec{v}, \quad \vec{B} \perp \vec{v}$$

Atrageți atenția! Faptul, că unda electromagnetică este transversală, nu înseamnă că în spațiu există niște «dealuri» și văi. De-a lungul direcției de propagare a undei și în punctul dat al spațiului au loc schimbări line a intensității și inducției magnetice a câmpului electromagnetic.

- Unda electromagnetică, ca și cea mecanică este caracterizată de *frecvență* (ν), *lungime de undă* (λ) și *viteza de propagare* (v). Ca și în cazul undelor mecanice, mărimile indicate sunt legate prin *formula undei*:

$$v = \lambda\nu$$

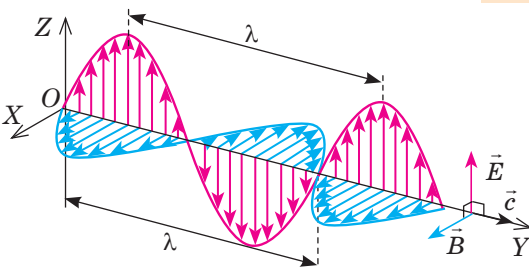


Fig. 22.4. Variațiile periodice ale vectorului intensității câmpului electric \vec{E} și a vectorului inducției magnetice \vec{B} în timpul propagării undei electromagnetice în direcția axei OY

Spre deosebire de undele mecanice, *pentru propagarea undelor electromagnetice nu e nevoie de mediu*. Dimpotrivă: *cel mai bine și cel mai repede undele electromagnetice se propagă în vid*. J. Maxwell a calculat pe cale teoretică viteza de propagare a unei electromagnetice în vid și a constatat, că valoarea obținută coincide cu valoarea vitezei luminii în vid (ea deja era măsurată pe cale experimentală): $v = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

J. Maxwell a făcut o presupunere îndrăzneță pentru timpul său: *lumina este unul dintre felurile de unde electromagnetice*. Savantul nu numai că a descoperit natura luminii, dar și a prezis existența și proprietățile diferitelor feluri de unde electromagnetice.

În vid — și numai în el — toate undele electromagnetice se propagă cu aceeași viteză (c), de aceea pentru vid lungimea și frecvența unei electromagnetice sunt legate prin formula: $c = \lambda \nu$.

În timpul trecerii dintr-un mediu în altul viteza de propagare a unei electromagnetice se schimbă, se schimbă și lungimea de undă, dar iată frecvența ei rămâne neschimbată.

În aer viteza de propagare a undelor electromagnetice este aproximativ la fel ca și în vid.

? Amintiți-vă, cum se numește fenomenul, legat de schimbarea vitezei luminii în timpul trecerii dintr-un mediu în altul. Se va observa oare acest fenomen pentru unda electromagnetică?

• *Undele electromagnetice, ca și cele mecanice, transferă energia*. Energia W a unei electromagnetice este direct proporțională cu frecvența ei ν la puterea a patra.

$$W \sim \nu^4$$

3 Cum au fost studiate proprietățile undelor electromagnetice

Primul a obținut unde electromagnetice H. Hertz în a. 1888. El a construit un emițător, care ulterior a primit denumirea de *vibratorul lui Hertz* (fig. 22.5, *a*). Când ambele bile din alamă erau încărcate până la o diferență

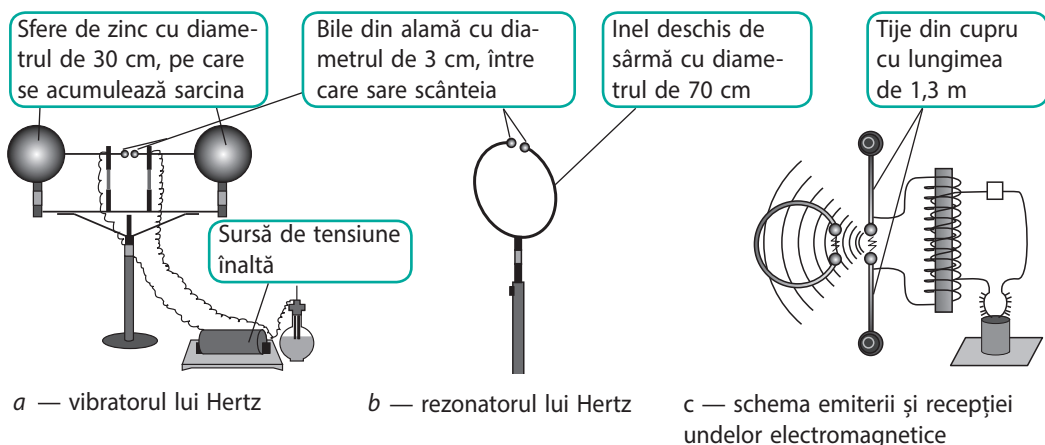


Fig. 22.5. Schema experienței lui Hertz de obținere și înregistrare a undelor electromagnetice

de potențial înaltă, între ele se forma scânteia și în mediul înconjurător era emisă o undă electromagnetică (în experiențele lui H. Hertz frecvența undelor ajungea până la 500 MHz).

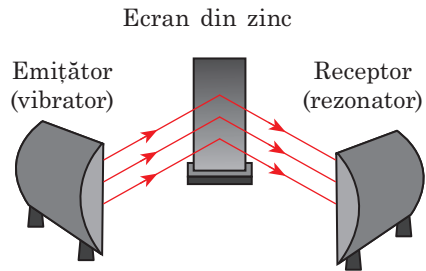
Pentru a capta undele emise H. Hertz a confecționat un *rezonator* (fig. 22.5, b). Variind dimensiunea intervalului de scânteiere dintre bilele rezonatorului, savantul îl acorda pe frecvența oscilațiilor vibratorului. Sub acțiunea câmpului electric variabil al unde electromagnetice create de către vibrator, în rezonator apăreau oscilații ale curentului. În timpul rezonanței tensiunea pe bilele rezonatorului creștea brusc, de aceea în acele momente, când între bilele vibratorului avea loc o descărcare, în intervalul de scânteiere al rezonatorului de asemenea săreau scânteie abia vizibile (fig. 22.5, c), care puteau fi văzute numai cu lupa și numai la întuneric.

Hertz nu numai că a obținut undele electromagnetice, dar și a confirmat pe cale experimentală proprietățile lor, prezise la timpul său de către J. Maxwell.

Proprietățile undelor electromagnetice și experiențele lui H. Hertz de studiere ale acestor proprietăți

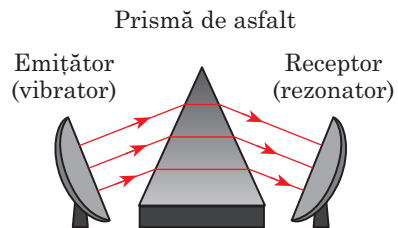
Undele electromagnetice se reflectă de la obiectele ce au conductibilitate.

Pe peretele laboratorului H. Hertz a fixat un ecran din zinc cu dimensiunile de 4×2 m, a creat cu ajutorul unei oglinzi sferice și a vibratorului un fascicul de unde electromagnetice și le-a direcționat sub un anumit unghi spre ecran. Savantul a stabilit, că *unghiul de reflexie al unde electromagnetice este egal cu unghiul ei de incidență.*



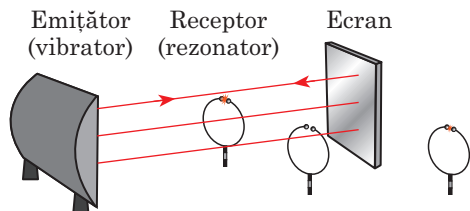
Undele electromagnetice se refractă la suprafața de separație cu dielectricul.

Pentru studierea refracției undelor electromagnetice H. Hertz a confecționat o prismă de asfalt cu înălțimea de 1,5 m și masa de 1200 kg. Amplasând prisma între vibrator și rezonator, savantul a observat, că scânteia din rezonator a dispărut. Formarea de scânteie se restabiea în cazul, când rezonatorul se deplasa spre baza prisme.



Undele electromagnetice ocolesc obstacolele, dimensiunile cărora sunt comparabile cu lungimea de undă (fenomenul difracției); suprapunându-se, undele electromagnetice se pot atât amplifica, cât și diminua una pe alta (fenomenul interferenței).

Pentru observarea acestor fenomene H. Hertz deplasa rezonatorul între vibrator și ecran și observa amplificarea, diminuarea sau dispariția scânteii în rezonator.



Făcând totalurile experiențelor sale, H. Hertz scria: «... experiențele descrise demonstrează identitatea luminii, undelor termice și a mișcării ondulatorie electrodinamice».



Facem totalurile

- Propagarea în spațiu a oscilațiilor câmpului electromagnetic se numește undă electromagnetică.
 - Unda electromagnetică — undă transversală: vectorii intensității \vec{E} a componentei electrice și inducției magnetice \vec{B} a componentei magnetice a câmpului electromagnetic totdeauna sunt perpendiculari unul pe altul și pe direcția de propagare a undei; ei concomitent ating valoarea maximă și concomitent se transformă în zero.
 - Viteza de propagare a undei electromagnetice, lungimea ei și frecvența sunt legate prin formula: $v = \lambda\nu$. Cel mai bine și mai repede undele electromagnetice se propagă în vid. Viteza de propagare a undelor electromagnetice în vid este aceeași pentru orice fel de unde electromagnetice și este egală cu viteza luminii: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Pentru vid formula undei are aspectul: $c = \lambda\nu$.
 - Experiențele lui Hertz au arătat, că undele electromagnetice se reflectă de la conductori, se refractă la limita de separație cu dielectricul, pot ocoli obstacolele (difracția) și se suprapun una pe alta (interferența). Totodată reflexia, refracția, interferența și difracția undelor electromagnetice au loc conform acelorași legi ca și pentru lumină.



Întrebări pentru control

1. Dați definiția undei electromagnetice. 2. Cum se formează unda electromagnetică? Care obiecte o pot emite? 3. Demonstrați, că unda electromagnetică — undă transversală. 4. Cum sunt legate între ele lungimea, frecvența și viteza de propagare a undei electromagnetice? 5. Cum depinde energia undei electromagnetice de frecvența ei? 6. Descrieți construcția dispozitivelor, cu ajutorul cărora H. Hertz a creat și a înregistrat undele electromagnetice. 7. Care proprietăți ale undelor electromagnetice au fost stabilite în procesul experiențelor lui H. Hertz? Descrieți aceste experiențe.



Exercițiul nr. 22

1. În care cazuri particula încărcată mobilă emite o undă electromagnetică?
 - a) Particula se mișcă rectiliniu uniform.
 - b) Particula frânează brusc, ciocnindu-se de un obstacol.
 - c) Particula se mișcă uniform pe circumferință într-un câmp magnetic.
 - d) Particula își mărește viteza sub acțiunea câmpului magnetic.
2. Completați tabelul, considerând, că undele se propagă în vid.

Sursă a undei	Lungimea de undă	Frecvența undei	Viteza undei
Linia de transmisie a energiei electrice		50 Hz	
Marea explozie (radiația cosmică de fond)	1,9 mm		
Lampa ultravioletă a instalației bactericide	264 nm		

3. În timpul trecerii undei electromagnetice din vid într-un mediu lungimea de undă s-a micșorat de 3 ori. De câte ori și cum s-a schimbat viteza de propagare a undei?

4. Folosind fig. 22.2, indicați pe fig. 1 direcțiile vectorilor \vec{E} , \vec{B} și \vec{v} care lipsesc ai unei unde electromagnetice. *Sugestie:* orientați degetul mare al mâinii drepte în direcția de propagare a unei (direcția vectorului \vec{v}), atunci patru degete îndoite vor indica direcția de la vectorul \vec{E} spre vectorul \vec{B} .

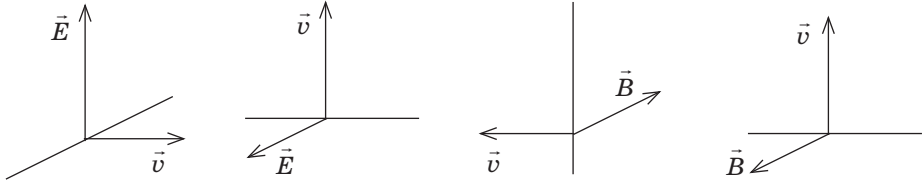


Fig. 1

5. Semnalul radiolocatorului s-a întors de la obiect peste 30 μs după emiter. La ce distanță de la instalația radiolocatorului este situat obiectul?
6. Câte oscilații se vor efectua în unda electromagnetică cu lungimea de 20 mm în timpul, care este egal cu perioada oscilațiilor sonore cu frecvența de 100 Hz? Considerați, că unda electromagnetică se propagă în vid.
7. Când deasupra casei zboară un avion, pe ecranele televizoarelor uneori apare o imagine dublată. De ce?
8. În timpul căror fenomene ale naturii sunt emise undele electromagnetice? Argumentați-vă răspunsul vostru.
9. Reflectă sau refractă undele electromagnetice suprafața Pământului? Argumentați-vă răspunsul vostru. Care factori demonstrează părerea voastră?
10. Aflați, de ce corpurile conductoare reflectă și refractă undele electromagnetice.
11. Astăzi astronomii în observațiile sale din ce în ce mai mult utilizează *radiotelescoapele* — instrumente astronomice pentru recepționarea și studierea undelor electromagnetice ale domeniului de frecvențe radio (fig. 2). Dacă telescoapele optice captează lumina vizibilă, radiațiile ultravioletă și infraroșie, atunci radiotelescoapele captează și înregistrează undele radio invizibile pentru ochi, pe care le emit planetele, stelele, nebuloasele ș.a. Cel mai mare telescop radio din lume — UTR-2 este situat în regiunea Harkov (fig. 3). El funcționează în domeniul decimetrului și cu ajutorul lui, astronomii ucraineni «ascultă» zgomotul Universului. Aflați, ce descoperiri în astronomie s-au datorat anume radiotelescoapelor.



Fig. 2



Fig. 3

PROFESIILE VIITORULUI



Constructorul de case inteligente

Pe pagina enciclopedică de la sfârșitul capitolului II voi puteți citi despre locuința obișnuită de viitor — casa inteligentă. Vor construi aceste case specialiști, care au cunoștințe profunde în termo-și electrodinamică, programare și electronică. Elementele acestei case vor fi imprimate pe imprimante 3D, ale căror operatori — specialiști în programare. Deci, constructorul de case inteligente — aceasta-i, desigur, o profesie de viitor.



§ 23. PRINCIPIILE COMUNICĂRII RADIOTELEFONICE. RADIOCOMUNICAȚIA ȘI TELEVIZIUNEA

Descoperirile lui H. Hertz au dat startul pentru crearea mijloacelor de comunicație fără fire. Renumitul fizician englez William Crookes (1832–1919) în articolul despre experiențele lui Hertz scria: «Aici se deschide o posibilitate minunată de-a telegrafia fără conductoare, stâlpi telegrafici, cabluri și alte diferite dispozitive moderne scumpe». Dar cum a fost realizată această posibilitate?

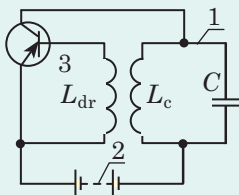
Generatorul de oscilații electro-magnetice neamortizate

Surse de unde radio pot fi numai oscilațiile electromagnetice de frecvență înaltă. Astfel de oscilații apar în conturul oscilant, însă ele repede se amortizează, și de aceea în contur trebuie de furnizat energie.

Sistemul autooscilant, în care energia de la sursa de curent continuu periodic se furnizează în conturul oscilant se numește generator de oscilații electro-magnetice.

Ca și în orice sistem autooscilant, în așa un generator sunt trei elemente caracteristice (vezi des.):

- 1 — *sistemul oscilant*, unde au loc oscilații libere, — *conturul oscilant*;
- 2 — *sursa de energie* — sursa de curent continuu;
- 3 — *dispozitivul de legătură inversă* — tranzistorul și bobina de reacție L_{dr} , care «dirijează» furnizarea energiei.



Când prin bobina L_c a conturului trece curentul, el creează un câmp magnetic variabil, care la rândul său, creează câmp electric turbionar, ce provoacă apariția curentului de inducție în bobina L_{dr} . În rezultat tensiunea dintre emitorul și baza tranzistorului variază «în tact» cu oscilațiile electromagnetice în contur. De aceea condensatorul periodic închide circuitul (în acest timp condensatorul primește energie de la sursă).

1 Ce probleme trebuie de rezolvat, pentru a realiza radiocomunicația

Radio (de la lat. *radio* — radiez) — aceasta-i metoda de transmitere și recepție fără fire a informației prin intermediul undelor electromagnetice..

Pentru a realiza transmiterea și recepționarea undelor electromagnetice, care poartă informație sonoră și optică, trebuie de soluționat o serie de probleme, și anume:

- de creat oscilații electromagnetice de frecvență înaltă;
- de suprapus pe oscilațiile de frecvență înaltă informația sonoră și (sau) optică;
- de asigurat emiterea undelor electromagnetice;
- de asigurat recepția undelor electromagnetice;
- de scos de pe semnalul primit de frecvență înaltă informația sonoră și (sau) optică și de o reproduc.

Să aflăm, cum aceste probleme au fost rezolvate.

2 Pentru ce trebuie antena

Radioundele se transmit la distanțe mari, de aceea trebuie să posede energie mare. După cum se știe, energie destul de mare au numai oscilațiile electromagnetice de frecvență înaltă:
 $W \sim v^4$.

Oscilațiile neamortizate de frecvență înaltă apar în conturul oscilant al *generatorului de oscilații electromagnetice*. Însă conturul oscilant obișnuit (închis) practic nu emite unde

електромагнетиче, доар кăмпул електрик апропе в ввнтрегеме есте концентрат ввнтре армăтуріе конденсаторулу, іар кăмпул магнетич — ввнтеріорул бобіне. Пенура ка контурул осцілант сă емітă унде електромагнетиче, требуіе де trecut de la контурул осцілант ввнчсіс ла цел десчсіс. Ацеаста се поате обтвне, де ехемплу, ввндепăртăнд армăтуріе конденсаторулу іа де алта (фг. 23.1).

Ввнлокуінд армăтура де ус а конденсаторулу ку ун кондуктор, ампласат кăт маі ус де ла суфрафаța пăмăнтулу, ш іегăнд ла пăмăнт армăтура де жо, обтвнем **антена** — *дспозітвву пенура рецеціонереа ш ірансмїтереа унделу електромагнетиче* (фг. 23.1, d). Пенура ірансмїтереа семналелу антена се леагă ку контурул осцілант ал генераторулу де осцілаціі електромагнетиче (фг. 23.2).

Осцілацііе електромагнетиче, ехцітае ввн антена, creează унде електромагнетиче, care се пропaga ввн дїферіте дїреціі. Дакă ввн друмул ундеї електромагнетиче се ва ввнтълні ун кондуктор, атунці унда ва ехціта ввн кондуктор curent electric alternativ, frecvența căruia va fi egală cu frecvența undei. *Дспозітввуе, ввн care sub acțiunea undelu електромагнетиче се ехцітă curenți de frecvență ввнлтъ се нумеск **антене де рецеціе**.*

3 Cu ce scop și cum se efectuează modularea

Ноі «ам прїміт» унде електромагнетиче де frecvență ввнлтъ ш ічїар путем ірансмїтереа ввнформаціе, де ехемплу, ку codul Morse (фг. 23.3), ввнтрерупăнд curentul ввн генератор ку ажуторул чеїї телеграфїче. Ануме аша erau primele telegrame, trimise cu telegraful fără conductoare. Ввнсă radio — ввн прїмул рăнд vorbire ш іmuzică.

S-ar părea, totul nu este atât de complicat: este suficient ca prin intermediul microfonului de transformat oscilațiile sonore ввн oscilațiile curentului electric, care ш і va crea unda electromagnetică corespunzătoare. Spre regret, ірансмїтереа а аствел де унде есте імпосїбілă цел пуцін дїн доуă прїчїнї: 1) ele au o frecvență joasă ш і, corespunzător, energie mică; 2) frecvența lor variază permanent (de la 20 Hz până la 16 000 Hz), de aceea есте імпосїбіл де ілузілат пенура рецеціонереа lor rezonanța.

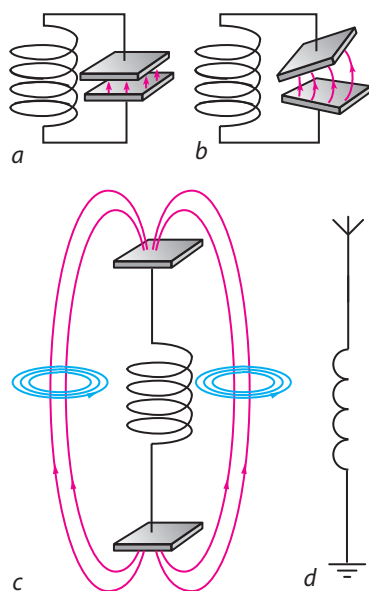


Fig. 23.1. Тrecerea de la контурул осцілант ввнчсіс (a, b) ла цел десчсіс (c); антена (d)

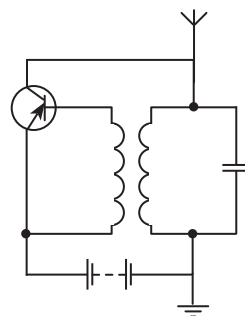


Fig. 23.2. Schema electrică а celui маі сімплу радиоемїтăтор — дспозїтвву пенура генеререа унделу електромагнетиче

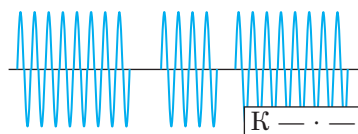


Fig. 23.3. Семналу радиотелеграфїче есте о succesiune de impulsuri de scurtă durată ш і de durată маі ввнделунгăтă ale унделу електромагнетиче

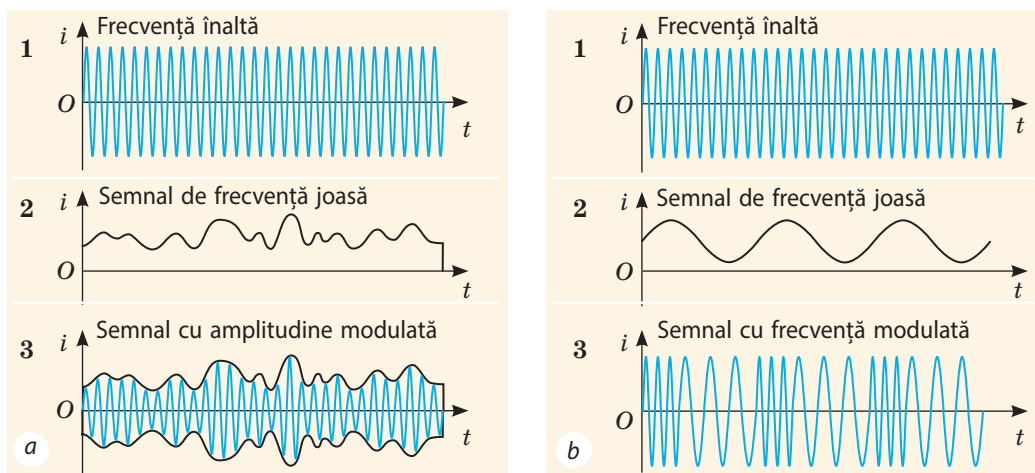


Fig. 23.4. Obținerea semnalelor cu amplitudine modulată (a) și cu frecvență modulată (b): 1 — graficul oscilațiilor electromagnetice de frecvență înaltă — frecvență-purtătoare; 2 — graficul oscilațiilor electromagnetice de frecvență joasă (sonoră) — frecvență modulată; 3 — graficul oscilațiilor electromagnetice modulate

Deci cum de creat o undă electromagnetică, care ar fi și de frecvență înaltă (deci și de energie mare) și în același timp să poarte informație sonoră? Problema a fost rezolvată cu ajutorul modulației.

Modulația — aceasta-i procesul schimbării parametrilor (amplitudinii, frecvenței, fazei inițiale) oscilațiilor electromagnetice de frecvență înaltă cu frecvențe mult mai mici, decât frecvența a însăși undei.

Unda cu parametri modificați se numește *modulată*. Frecvența inițială a undei (nemodulate) de frecvență înaltă se numește *frecvență-purtătoare*, frecvența cu parametri modificați — *frecvență de modulație*.

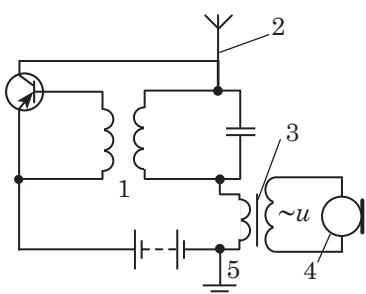


Fig. 23.5. Schema electrică a celui mai simplu radioemitor cu dispozitiv pentru modulația amplitudinii:

- 1 — generator de oscilații electromagnetice de frecvență înaltă
- 2 — antenă de emisie
- 3 — transformator sonor;
- 4 — microfon;
- 5 — legare la pământ

Dacă în procesul modulației se schimbă amplitudinea oscilațiilor de frecvență înaltă, atunci obținem un semnal cu amplitudine modulată (fig. 23.4, a), dacă se schimbă frecvența — semnal cu frecvență modulată (fig. 23.4, b).

Cel mai simplu este de obținut semnalul cu amplitudine modulată. Pentru aceasta se conectează la circuitul generatorului de frecvență înaltă o sursă de tensiune variabilă cu frecvență joasă, de exemplu, înfășurarea secundară a transformatorului, înfășurarea primară a căruia este unită cu microfonul (fig. 23.5). Sub acțiunea tensiunii de frecvență joasă, ce variază cu frecvența sonoră, se schimbă energia care se furnizează conturului oscilant al generatorului de la sursă. Corespunzător se modifică cu frecvența sunetului și amplitudinea intensității curentului în generator, și deci și amplitudinea semnalului inițial.

Atrageți atenția: pentru transmiterea calitativă a informației frecvența-purtătoare trebuie să fie de multe ori mai mare decât frecvența modulației.

4 Cum de recepționat și de descifrat semnalul

Undele electromagnetice, ajungând la antena de recepție, excită în ea oscilații de aceeași frecvență ca și frecvența undelor. Dar în antenă ajung oscilații de la diferite stații de radio, și fiecare stație de radio funcționează pe frecvența sa. Pentru a evidenția din mulțimea de oscilații oscilațiile de frecvența necesară se folosește *rezonanța electrică*. Pentru aceasta se leagă prin inducție cu antena conturul oscilant (fig. 23.6). Variind capacitatea condensatorului (reglând radioreceptorul), se modifică frecvența proprie ν_0 a oscilațiilor conturului:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Când frecvența proprie a oscilațiilor conturului oscilant coincide cu frecvența undei electromagnetice, pentru care este reglat radioreceptorul, are loc rezonanța: amplitudinea oscilațiilor forțate ale intensității curentului în contur crește brusc.

Deci, din mulțimea de semnale, care excită oscilații în antena de recepție, este evidențiat un semnal modulat de frecvență înaltă. Acum acest semnal trebuie *de-l demodulat — de separat semnalul de frecvență sonoră de la frecvența-purtătoare*.

Demodulatorul (detectorul) semnalului cu amplitudine modulată este compus dintr-o diodă semiconductoră D , condensator C și rezistor R (fig. 23.7). Dioda lasă să treacă curentul numai într-o singură direcție, de aceea după trecerea prin diodă curentul va vi pulsator (fig. 23.8, *a*, *b*). Curentul pulsator trece prin sistemul «condensator — rezistor». Datorită încărcării și descărcării periodice a condensatorului (vezi fig. 23.7) pulsațiile se netezesc și la ieșire avem curent de frecvență sonoră (fig. 23.8, *c*).

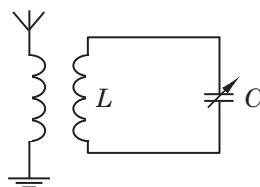


Fig. 23.6. Schema recepției și evidențierii radiosemnalelor de frecvență necesară cu ajutorul rezonanței electrice. Săgeata indică aceea, că capacitatea condensatorului poate fi modificată

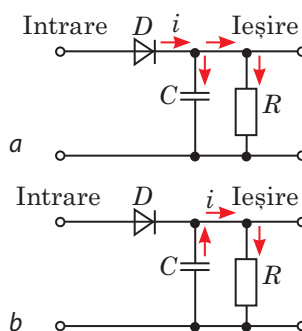


Fig. 23.7. Schema și principiul de lucru al demodulatorului: *a* — când dioda lasă să treacă curentul, condensatorul se încarcă; *b* — când dioda nu lasă să treacă curentul, condensatorul se descarcă prin rezistor

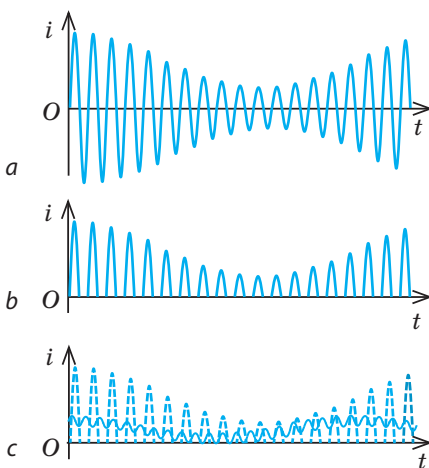


Fig. 23.8. Graficul oscilațiilor intensității curentului: *a* — până la detector; *b* — după trecerea diodei; *c* — după trecerea detectorului

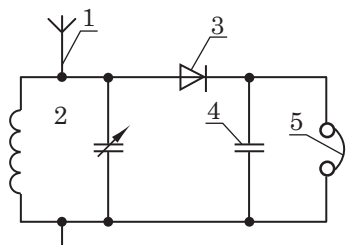


Fig. 23.9. Schema electrică a celui mai simplu radioreceptor:
1 — antenă de recepție; 2 — contur oscilant; 3 — diodă; 4 — condensator; 5 — căști telefonice

? Examinați schema electrică a celui mai simplu radioreceptor (fig. 23.9). Atrageți atenția mai o dată la componentele lui. Ce destinație are fiecare dintre ele?

5 Principiile comunicației radiotelefonice

Cel mai simplu radioreceptor cu detecție funcționează pe baza energiei undelor electromagnetice primite. Evident, că această energie este insuficientă pentru a reproduce semnalul sonor suficient de clar, de aceea în radioreceptoarele și radioemițătoarele reale semnalul trece printr-o serie de amplificări (fig. 23.10).

Etapile principale de creare a recepției și transformării semnalelor radio

1. *Generatorul* oscilațiilor electromagnetice neamortizate creează oscilații electromagnetice de frecvență înaltă, a căror frecvență este egală cu frecvența proprie a oscilațiilor conturului oscilant al generatorului: $\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$.
2. Oscilațiile de frecvență înaltă sunt *modulate* de oscilațiile de frecvență sonoră.
3. Oscilațiile modulate sunt *amplificate* și transmise *antenei de emisie*, care emite unde electromagnetice.
4. Ajungând în *antena de recepție*, undele electromagnetice excită în ea oscilații electromagnetice de frecvență înaltă.
5. Oscilațiile excitate în antena de recepție, provoacă oscilații electromagnetice de frecvență înaltă în conturul oscilant de rezonanță: $\nu = \nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$.
6. Oscilațiile slabe de frecvență înaltă *se amplifică* și se transmit *demodulatorului*.
7. Demodulatorul separă din oscilațiile modulate oscilațiile de frecvență joasă sonoră.
8. Oscilațiile de frecvență joasă *se amplifică* și se transformă în *sunet*.

6 Noțiune de televiziune

Schema principală de producere și recepție a semnalului de televiziune puțin diferă de schema principală a comunicării radiotelefonice (vezi fig. 23.10), însă are o serie de particularități.

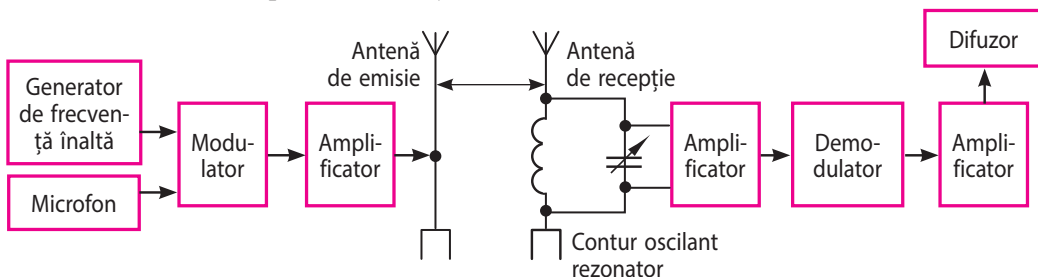


Fig. 23.10. Schema principală a comunicării radiotelefonice

1. În teleemițător oscilațiile frecvenței-purtătoare sunt modulate atât ca semnal sonor, cât și ca semnal video, care debitează de la camera de luat vederi. Deoarece semnalul de televiziune poartă un volum mare de informație, frecvența-purtătoare a acestui semnal trebuie să fie suficient de înaltă, de aceea stațiile de televiziune funcționează numai în diapazonul radioundelor ultrascurte.

2. În receptorul de televiziune semnalul modulat de frecvență înaltă se amplifică și se împarte în componentele video și audio. Semnalul video amplificat este introdus în modulul de culoare, unde acesta se decodifică, iar apoi trece la dispozitivul pentru afișarea informațiilor optice; componenta audio este introdusă în canalul însoțirii sonore, unde se demodulează și se amplifică, apoi se transmite difuzorului.

7 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. În ce diapazon de lungimi de undă funcționează radioemițătorul, dacă capacitatea condensatorului conturului lui oscilant poate varia de la 50 până la 200 pF, iar inductanța bobinei este egală cu 50 μH?

Analiza problemei fizice. Lungimea, frecvența și viteza undei electromagnetice sunt legate prin formula undei. Undele se propagă în aer, de aceea viteza lor este aproximativ egală cu viteza luminii în vid. Frecvențele-purtătoare maximă și minimă le vom afla, aplicând formula lui Thomson.

Se dă:

$$C_1 = 50 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

$$C_2 = 200 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

$$L = 50 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda_{\min} \text{ — ?}$$

$$\lambda_{\max} \text{ — ?}$$

Rezolvarea.

$$\text{După formula undei: } c = \lambda v \Rightarrow \lambda = \frac{c}{v}.$$

$$\text{Deoarece } \frac{1}{v} = T, \text{ unde } T = 2\pi\sqrt{LC}, \text{ definitiv avem: } \lambda = 2\pi c\sqrt{LC}.$$

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[\lambda] = \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{\text{F} \cdot \text{H}} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{\frac{\text{C}}{\text{V}} \cdot \frac{\text{V}}{\text{A/s}}} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{\frac{\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{s}}{\text{A}}} = \text{m};$$

$$\lambda_{\min} = 2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^8 \sqrt{50 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^{-12}} \approx 94 \text{ (m)}; \lambda_{\max} \approx 188 \text{ m.}$$

Răspuns: $94 \text{ m} < \lambda < 188 \text{ m}$.



Facem totalurile

Pentru a realiza transmiterea și recepționarea undelor electromagnetice, care poartă informație sonoră și optică, trebuie:

- de creat oscilații electromagnetice de frecvență înaltă (cu ajutorul generatorului de oscilații electromagnetice);
- de suprapus pe oscilațiile de frecvență înaltă informația sonoră și optică (se realizează prin modulația oscilațiilor de frecvențe înalte cu oscilații de frecvențe mai joase);
- de asigurat emiterea undelor electromagnetice (cu ajutorul antenei de emisie);
- de asigurat recepția undelor electromagnetice (cu ajutorul antenei de recepție și a conturului oscilant de rezonanță);
- de scos de pe semnalul primit de frecvență înaltă informația sonoră și optică (cu ajutorul demodulatorului).



Întrebări pentru control

1. De ce pentru transmiterea semnalelor radio trebuie de utilizat oscilațiile electromagnetice de frecvență înaltă? 2. Unde se produc oscilațiile electromagnetice neamortizate de frecvență înaltă? 3. De ce conturul oscilant închis practic nu emite unde electromagnetice? 4. Ce este antena? 5. Cum de obținut radiosemnalul, care să fie în același timp de frecvență înaltă și purtător de informație sonoră? 6. Numiți principale părți componente ale radioreceptorului și destinația lor. 7. Explicați mecanismul demodulației. 8. În ce constă asemănarea și deosebirea transmițerii și recepției semnalelor de televiziune și de radiotelefonie?



Exercițiul nr. 23

- De ce frecvența înaltă a oscilațiilor, care se utilizează în comunicația radio se numește purtătoare?
- Determinați lungimea undei, pe care o emite stația radio, ce funcționează pe frecvența de 4,5 MHz.
- Radioreceptorul emite unde electromagnetice cu lungimea de 150 m. Ce capacitate are conturul lui oscilant, dacă inductanța conturului este egală cu 1,0 mH? Neglijați rezistența activă a conturului.
- Determinați lungimea undei electromagnetice în vid, pe care este reglat conturul oscilant al radioreceptorului, dacă la o sarcină maximă a condensatorului de $2 \cdot 10^{-8}$ C intensitatea maximă a curentului în contur este egală cu 1 A.
- Cine a descoperit radioul? Italienii consideră, că radioul a fost descoperit de către *Guglielmo Marconi*, nemții — *Heinrich Hertz*, rușii — *Alexandr Popov*, sârbii — *Nikola Tesla*. Dar voi ce părere aveți? Discutați pe această temă.
- La începutul dezvoltării radioului pentru legătură în principal se utilizau radioundele de la 1 până la 30 km. Undele, mai scurte de 100 m, în general erau considerate inutile pentru legătura la distanțe mari. Însă astăzi undele scurte și ultrascurte au obținut cea mai largă răspândire. Aflați de ce așa s-a întâmplat.

LUCRARE EXPERIMENTALĂ NR. 4

Tema. Măsurarea inductanței bobinei. .

Scopul: de a determina pe cale experimentală inductanța bobinei; de a se convinge prin experiență, că inductanța bobinei depinde esențial de prezența miezului.

Utilajul: o sursă reglabilă de curent alternativ de tensiune joasă, voltmetru și miliampermetru de curent alternativ, multimetru, bobină cu miez, întrerupător, conductoare de conexiune.



INDICAȚII LA LUCRARE



Pregătirea pentru experiment

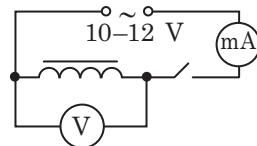
Din formula pentru determinarea rezistenței Z a circuitului de curent alternativ, care conține o bobină $\left(Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \right)$, obțineți formula pentru determinarea inductanței L a bobinei.

▶ Experiență

Respectați strict instrucțiunile tehnicii securității (vezi forțașul).

Rezultatele măsurătorilor și calculelor introduceți-le deodată în tabel.

1. Fixați comutatorul multimetrului pentru măsurarea rezistenței (Ω) și măsurați rezistența activă R a bobinei.
2. Montați circuitul electric după schema reprezentată în figură.
3. Deconectați întrerupătorul și uniți circuitul la sursa de tensiune alternativă.
4. Conectați sursa de tensiune alternativă, fixați comutatorul la indicația zero, închideți întrerupătorul.
5. Mărind treptat tensiunea, măsurați intensitatea curentului alternativ pentru patru valori ale tensiunii.
6. Deschideți circuitul, scoateți miezul din bobină și repetați acțiunile, descrise în punctele 4, 5, pentru bobina fără miez.



Bobina	Rezistența activă R , Ohm	Tensiunea, V				Intensitatea curentului, A				Rezistența totală medie Z_{med} , Ohm	Inductanța bobinei L_{med} , H
		U_1	U_2	U_3	U_4	I_1	I_2	I_3	I_4		
cu miez											
fără miez											

▶ Prelucrarea rezultatelor experimentului

Acțiunile descrise mai jos efectuați-le pentru bobina cu miez și bobina fără miez.

1. Construiți graficul $U(I)$ — a dependenței tensiunii efective de intensitatea efectivă a curentului.
2. După graficul $U(I)$ determinați valoarea medie a rezistenței totale a porțiunii: $Z_{med} = \frac{U'}{I'}$, unde U' și I' — valorile intensității curentului și tensiunii pentru un punct arbitrar al graficului (vezi Anexa 2).
3. Calculați valoarea medie a inductanței bobinei (dacă $R \ll Z_{med}$, atunci rezistența activă a bobinei poate fi neglijată $L_{med} \approx \frac{Z_{med}}{\omega} \approx \frac{Z_{med}}{2\pi\nu}$, unde $\nu = 50$ Hz — frecvența variației tensiunii în rețea).

□ Analiza experimentului și a rezultatelor lui

După rezultatele experimentului formulați concluzia, în care să menționați: 1) ce mărime fizică ați măsurat; 2) rezultatele măsurătorilor; 3) de unde depinde oare inductanța bobinei de tensiunea furnizată; de prezența miezului; 4) cauzele erorilor.

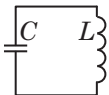
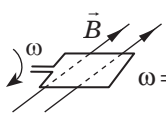
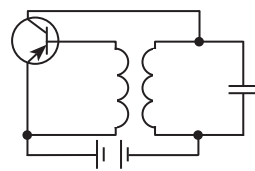
+ Însărcinare creativă

Chibzuiți și scrieți planul efectuării experiențelor, pentru demonstrarea dependenței inductanței bobinei de cantitatea de spire în înfășurarea ei; de forma miezului. După posibilitate efectuați experiențele.

FACEM TOTALURILE CAPITOLUL II «OSILAȚII ȘI UNDE ELECTROMAGNETICE»

1. Voi ați aflat despre *oscilațiile electromagnetice*.

Oscilații electromagnetice

Oscilații libere	Oscilații forțate	Autooscilații
<p>Oscilații în conturul oscilant</p>  $W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \frac{q_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2}$ <p>Formula lui Thomson (pentru conturul ideal):</p> $T = 2\pi\sqrt{LC}$	<p>Curentul alternativ</p>  $\omega = 2\pi n$ $\Phi(t) = BS \cos \omega t;$ $e(t) = NBS\omega \sin \omega t = \mathcal{E}_{\max} \sin \omega t;$ $i(t) = \frac{\mathcal{E}_{\max}}{R+r} \sin \omega t$ <p>Valorile efective ale intensității curentului și tensiunii:</p> $I_V = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}; U_V = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$	<p>Oscilații în generatorul de oscilații neamortizate</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Sursă de energie: acumulatorul • Sistemul oscilant: conturul oscilant • Dispozitivul de închidere: tranzistorul • Legătura inversă: inductanța

2. Voi ați aflat, că în circuitele curentului alternativ există *diferite feluri de rezistențe*.

Rezistența activă	Rezistența inductivă	Rezistența capacitivă
<p>cauzată de transformarea energiei electrice în energie internă</p> $R = \rho \frac{l}{S}$	<p>cauzată de apariția FEM de autoinducție:</p> $X_L = \omega L$	<p>cauzată de reacțiunea periodică a câmpului electric al contera campului electric exterior:</p> $X_C = \frac{1}{\omega C}$

3. Voi ați făcut cunoștință cu construcția și principiul de lucru al *transformatorului* și mărimile fizice, care îl caracterizează.

Coeficientul de transformare: $k = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2}$

$k > 1$ — transformator coborâtor

$k < 1$ — transformator ridicător

Randamentul transformatorului

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

4. Voi ați lărgit cunoștințele voastre despre *undele electromagnetice*, v-ați amintit proprietățile undelor electromagnetice, ați aflat, cum se realizează comunicația radiotelefonică.

Unele proprietăți ale undelor electromagnetice

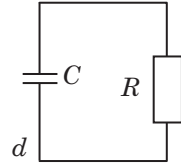
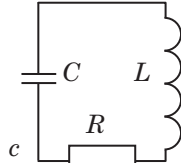
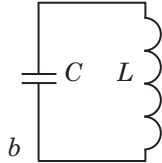
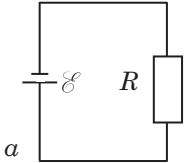
<p>În vid se propagă cel mai bine. Viteza de propagare în vid este aceeași:</p> $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	<p>Undele transversale: $\vec{E} \perp \vec{v}$, $\vec{B} \perp \vec{v}$; totodată vectorii \vec{E} și \vec{B} oscilează în aceeași fază și $\vec{E} \perp \vec{B}$</p>	<p>Se reflectă de la suprafețele conductoare și se refractă la suprafața de separație cu dielectricul</p>	<p>Sunt capabile să ocolească obstacolele (<i>difracția</i>) și să se suprapună una pe alta (<i>interferența</i>)</p>	<p>Lungimea de undă în vid și frecvența undei sunt legate prin formula undei:</p> $c = \lambda \nu$
--	--	---	---	---



ÎNSĂRCINĂRI PENTRU AUTOVERIFICARE LA CAPITOLUL II «OSCILAȚII ȘI UNDE ELECTROMAGNETICE»

Însărcinarea 1. Sarcina de pe armăturile unui condensator al conturului oscilant variază după legea $q = 2 \cdot 10^{-7} \cos(4\pi \cdot 10^6 t)$, inductanța bobinei este egală cu $25 \mu\text{H}$.

1. (1 bal) Care dintre dispozitivele reprezentate este un contur oscilant ideal?



2. (2 baluri) Care este frecvența ciclică a oscilațiilor care iau naștere în contur?
a) $0,2 \text{ rad/s}$; b) $12,6 \text{ rad/s}$; c) $4,31 \cdot 10^6 \text{ rad/s}$; d) $1,26 \cdot 10^7 \text{ rad/s}$.
3. (2 baluri) Determinați energia câmpului electric al condensatorului în acel moment când intensitatea curentului din contur va atinge $1,5 \text{ A}$.
4. (3 baluri) Determinați capacitatea condensatorului și energia totală a conturului oscilant.

Însărcinarea 2. Un transformator cu coeficientul de transformare 10 este conectat la o rețea de curent alternativ cu tensiunea de 120 V .

1. (1 bal) Ce fel de transformator este acesta?
a) ridicător; b) coborător.
2. (2 baluri) Care este tensiunea și ieșirea transformatorului în regimul mersului în gol? Care este tensiunea la ieșirea transformatorului în regimul mersului în gol?
a) 10 V ; b) 12 V ; c) 120 V ; d) 1200 V .
3. (2 baluri) Câte spire sunt în înfășurarea secundară a transformatorului, dacă înfășurarea lui primară conține 700 de spire?
4. (3 baluri) Cum se va schimba intensitatea curentului în înfășurările primară și secundară ale transformatorului, dacă se va deconecta miezul de fier? Argumentați răspunsul.

Însărcinarea 3. O stație de radio funcționează pe frecvența de $6 \cdot 10^6 \text{ Hz}$.

1. (2 baluri) Pe ce lungime de undă funcționează stația de radio?
a) 12 mm ; b) 50 cm ; c) 50 m ; d) 6 km .
2. (2 baluri) Care este perioada oscilațiilor sarcinii pe condensatorul conturului oscilant al generatorului stației de radio?
3. (3 baluri) Determinați capacitatea condensatorului conturului oscilant al radioreceptorului, reglat pentru recepția acestei stații de radio, dacă inductanța bobinei conturului este egală cu $2 \mu\text{H}$.

Însărcinarea 4. Circuitul, în care sunt legați în serie o bobină cu inductanța de $19,1 \text{ mH}$ și un condensator, a cărui capacitate poate fi schimbată, este conectat la o sursă de curent, tensiunea căreia variază după legea $u = 14,1 \sin 100\pi t$.

1. (2 baluri) Ce va indica voltmetrul, legat în paralel cu sursa de curent?
2. (2 baluri) La care capacitate a condensatorului rezistența inductivă a circuitului va fi egală cu rezistența capacitivă?

Confrunțați răspunsurile voastre cu cele indicate la sfârșitul manualului. Notați însărcinările, pe care le-ați efectuat corect și calculați suma balurilor. Împărțiți această sumă la doi. Numărul obținut va corespunde nivelului vostru de succese la învățatură.

Casă inteligentă

În ultimul timp deseori se poate auzi îmbinarea de cuvinte «casă inteligentă» (fig. 1). Conform definiției tehnice, casa inteligentă — acestea-s câteva dispozitive, îmbinate în rețea, dirijarea cărora se realizează prin aplicațiile comode (smartphone, tabletă etc.). Să studiem mai detaliat acest sistem.

Cum astăzi se efectuează gestionarea aparatelor de uz casnic în locuințe? Telecomenzile pentru aparate de uz casnic (televizoare, aparate de aer condiționat etc.) sunt adesea greu de distins, în plus, ele «dispar» exact atunci, când sunt absolut necesari. Dispozitivele de încălzire (radiatoarele,

podelele calde) se reglează numai direct în încăperile în care sunt situate. Dacă proprietarii, de exemplu, au uitat să scoată fierul de călcat din priză, trebuie să se întoarcă imediat. Lista incomodităților poate fi continuată.

Aceasta este motivul pentru care inginerii au creat un sistem numit «casă inteligentă» și oferă o viață confortabilă locuitorilor (fig.2). Dar cum să se folosească de acest sistem o persoană, care nu este un specialist al TI? Totul este destul de simplu! Stăpânul sau stăpâna pot deschide geamurile în orice moment pe un smartphone sau pe o tabletă, pe care este indicată situația în locuință, cum



Fig.1. Casă inteligentă

ar fi: temperatura în diferite camere, umiditatea, starea ușilor de la intrare ș.a. În caz de îndoială în privința fierului de călcat problema se rezolvă într-un clic. Trebuie pur și simplu de deconectat priza respectivă din rețeaua electrică. Și asta nu este totul! Casa inteligentă din această cauză și are numele de «inteligentă», deoarece poate cu mult mai mult. De exemplu, reduce automat consumul de energie prin reducerea temperaturii pe durata absenței proprietarilor, ea nu numai că gestionează ventilația, dar creează, de asemenea, o microclimă sănătoasă în fiecare cameră, optimizează funcționarea sistemelor de iluminat și apă etc. Principiul de bază al unei case inteligente — de a face ca locuința să fie un organism unic, în care totul este legat reciproc și lucrează sincron, adaptându-se la dorințele stăpânilor.

Vom sublinia, că dimensiunea locuințelor pentru sistemul «casă inteligentă» nu contează. El va lucra eficient și într-o clădire mare și într-un apartament obișnuit. Nu există limită și pentru numărul minim de funcții ale casei inteligente. Putem începe, de exemplu, cu gestionarea prizelor de la

distanță și sistemul de securitate, apoi adăuga alte funcții. În cele din urmă, pe Internet, se poate găsi o mulțime de instrucțiuni despre cum se face de sine stătător sistemul «casă inteligentă». Deci inventați ceva de genul acesta și voi!

Semnalele de la senzori diferiți — «organele de simț» — sunt transmise controlorului — «creierul sistemului», care este programat într-un anumit mod. Conform programului, creierul emite comenzi «executorilor inteligenți». Aceștia pot fi încălzitoarele, prizele, televizoarele etc. Locuitorii primesc informații despre starea locuinței pe smartphone-ul sau tableta lor. În caz de necesitate, ei pot interveni și schimba parametrii sau procedurile standard, cum ar fi de a mări temperatura în dormitor sau de a conecta din timp încălzirea hranei. Atrageți atenție faptului, că funcționarea casei inteligente este imposibilă fără *unde electromagnetice*. Într-adevăr, toate comenzile «creierului sistemului» le transmite «executorilor inteligenți» cu ajutorul undelor electromagnetice, locuitorii au legătură reciprocă cu controlorul la fel prin intermediul lor.

«ORGANELE DE SIMȚ»

«EXECUTORI INTELIGENȚI»

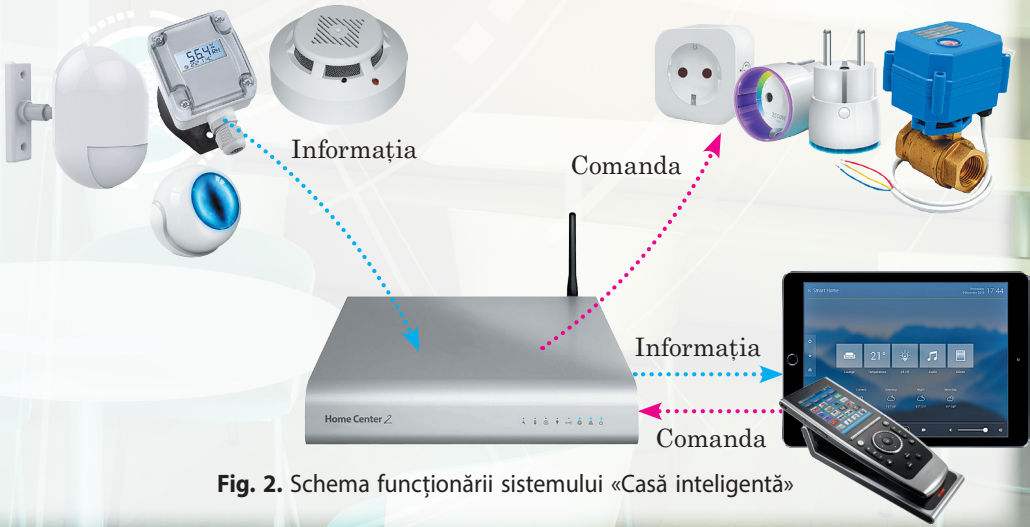


Fig. 2. Schema funcționării sistemului «Casă inteligentă»

CAPITOLUL III. OPTICA

§ 24. DEZVOLTAREA CONCEPȚIILOR DESPRE NATURA LUMINII



Primele concepții despre natura luminii au apărut încă în Grecia Antică și Egipt. Printre teoriile multiple de pe vremea aceea erau și foarte apropiate de cele contemporane, și cu totul primitive. De exemplu, unii savanți din vechime considerau, că din ochi ies tentacule subțiri, care pipăie obiectele, ca urmare și apare percepția vizuală. Apropiată de conceptele actuale poate fi considerată teoria lui Democrit, care își închipuia lumina ca un flux de particule. Să ne amintim, ce este lumina și să aflăm, cum s-au dezvoltat concepțiile despre lumină.

1 Optica — știința despre lumină

Lumina — *acestea-s unde electromagnetice, pe care le percepe ochiul omului, adică unde cu lungimea de la 380 nm (lumina de culoare violetă) până la 760 nm (lumina de culoare roșie).*

• Lumina este radiată în urma proceselor, care au loc în interiorul atomilor (mai detaliat despre natura luminii veți afla din materialul § 37).

• Orice corp fizic, atomii căruia emit unde electromagnetice din domeniul vizibil se numește sursă de lumină. Sursele de lumină pot fi *naturale* (steaua, Soarele, fulgerul, licuriciul etc.) și *artificiale* (rugul, lumânarea, flacăra, becul electric).

Capitolul fizicii, care studiază fenomenele legate cu propagarea undelor electromagnetice din domeniul vizibil și cu interacțiunea acestor unde cu substanțele se numește **optica** (de la grecesc. *optike* — știința despre vedere; *optos* — vizibil).

În ultimul timp optica studiază de asemenea undele electromagnetice din domeniul *infraroșu* (cu lungimea de 760 nm — 1 mm) și *ultraviolet* (cu lungimea de 10–380 nm).

Principalele capitole ale opticii

Optica geometrică studiază propagarea, reflexia și refracția luminii, fără a explica natura luminii

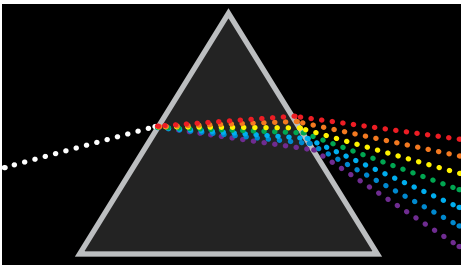
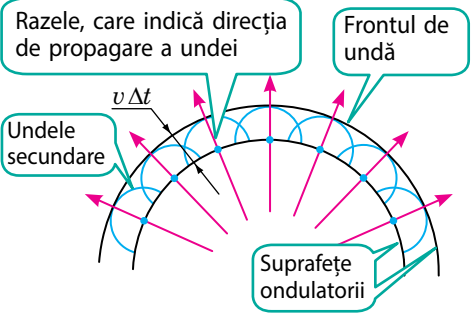
Optica ondulatorie studiază lumina ca unde electromagnetice de o anumită frecvență

Optica cuantică studiază lumina ca un fascicul de particule — fotoni, care au energie, dar nu au masă

În următoarele paragrafe noi vom studia principalele noțiuni și legi ale fiecărui capitol al opticii, iar acum ne vom opri pe scurt asupra istoriei formării concepțiilor despre natura luminii.

2 Teoria corpusculară a lui I Newton și teoria ondulatorie a lui C. Huygens

La sfârșitul sec. XVII aproape în același timp au apărut două teorii diferite, care explicau natura luminii, bazându-se pe legile *mecanicii*: **teoria corpusculară** a fizicianului englez *Isaac Newton* (1643–1727) și **teoria ondulatorie** a fizicianului olandez *Christian Huygens* (1629–1695).

Teoria corpusculară a luminii a lui I. Newton	Teoria ondulatorie a luminii a lui C. Huygens
<p>Conform teoriei corpusculare a lui I. Newton: <i>lumina — flux de corpuscule (particule)</i>, care sunt emise de obiectele luminoase, totodată mișcarea corpusculilor de lumină se supune <i>legilor mecanicii</i>. Astfel, reflexia luminii Newton o explica ca reflexie elastică a corpusculilor de la suprafața pe care cade lumina, iar refracția luminii — prin schimbarea vitezei de mișcare a corpusculilor ca urmare a atragerii lor de către particulele mediului refractor. Lui Newton îi aparține <i>teoria culorii</i>, conform căreia <i>lumina albă este un amestec de culori diferite, iar obiectele ne fac impresia de colorate, deoarece ele reflectă unele componente ale culorii albe mai intens decât altele</i>.</p>  <p>Schema experienței lui I. Newton de descompunere a luminii albe în spectru</p> <p>Cercetările experimentale ale luminii realizate de I. Newton, până în sec. XIX au fost cele mai perfecte, iar monografia lui «Optica» (a. 1704) a devenit sursa de bază pentru crearea manualelor. Vom menționa: teoria corpusculară ducea la concluzia falsă, că viteza luminii în mediu este mai mare decât în vid; de asemenea, ea nu putea explica, de ce fasciculele de lumină, care se intersectează, nu influențează unul asupra altuia.</p>	<p>Conform teoriei ondulatorii a lui C. Huygens: <i>lumina — acestea-s unde mecanice longitudinale</i>, care se propagă în eterul Universului — un mediu elastic ipotetic, care umple tot spațiul universal. Huygens a formulat principiul propagării undei de lumină, cunoscut în zilele de azi ca principiul lui Huygens:</p> <p>Orice punct al mediului, în care a ajuns unda devine sursă de undă secundară, iar înfășurătoarea tuturor acestor unde secundare dă poziția frontului de undă la momentul ulterior de timp.</p>  <p>Bazându-se pe acest principiu Huygens a argumentat fenomenele de reflexie și refracție a luminii, principiul independenței fasciculelor de lumină, însă nu a putut explica formarea culorilor. «Tratatul despre lumină» a lui Huygens (a. 1690) a devenit prima lucrare științifică în optica ondulatorie. După apariția la începutul sec. XIX a lucrărilor savantului englez <i>Tomas Young</i> (1773—1829) și ale savantului francez <i>Augustin Jan Fresnel</i> (1788—1827), care studiind lumina observau fenomene, proprii numai pentru unde, și anume <i>difracția și interferența luminii</i>, în știință a început să prevaleze teoria lui Huygens.</p>

3 Formarea concepțiilor actuale despre natura luminii

În anii 60-ci ai sec. XIX *J. Maxwell* a elaborat teoria câmpului electromagnetic, o consecință a căreia a fost stabilirea posibilității existenței a undelor electromagnetice. Conform calculelor învățatului, viteza de propagare a undelor electromagnetice era egală cu viteza de propagare a luminii: $c \approx 300\,000\text{ km/s}$.

Pe baza cercetărilor sale teoretice Maxwell a ajuns la concluzia că *lumina — un caz particular al undelor electromagnetice*. După experiențele lui H. Hertz (vezi § 22) au dispărut toate îndoielile referitoare la natura electromagnetice a luminii.

Teoria electromagnetică a luminii, însă nu putea explica fenomenele, care apar în timpul interacțiunii luminii cu substanța: absorbția și radiația luminii, fotoefectul (emisia electronilor de pe suprafața substanței sub acțiunea luminii) ș.a. Aceste fenomene pot fi explicate de teoria cuantică a luminii, bazele căreia au fost puse în anul 1900 de către fizicianul german *Max Planck* (1858–1947). Conform teoriei cuantice, lumina este radiată, se propagă și este absorbită de substanță nu continuu, dar prin porții finite — cuante. Fiecare cantă de lumină aparte se comportă ca o particulă, iar totalitatea cuantelor se comportă ca o undă. O astfel de natură dualistă a luminii a primit denumirea de **dualism undă-corpusul**.

În fizica modernă concepțiile cuantice nu contrazic celor ondulatorii, dar se îmbină pe baza mecanicii cuantice și a electrodinamicii cuantice.

- ❓ De ce teoria corpusculară a luminii a lui I. Newton și teoria ondulatorie a lui C. Huygens s-au dovedit a fi greșite?

Măsurarea vitezei de propagare a luminii

Încă *G. Galilei* considera, că lumina se propagă cu viteză finită, chiar și foarte mare. Anume Galilei a făcut prima (spre regret, nereușită) încercare de a măsura viteza de propagare a luminii.

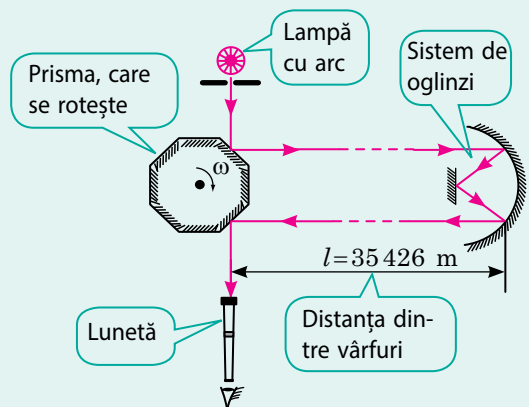
Primul a determinat viteza de propagare a luminii astronomul danez *Ole Hristensen Romer* (1644–1710) în a. 1676, urmărind eclipsele lui Io – satelitului lui Jupiter (vezi fig. de la pag. 143).

Pe cale experimentală viteza de propagare a luminii pentru prima dată a fost măsurată de către fizicianul francez *Armand-Hippolyte-Louis Fizeau* (1819–1896) în a. 1849.

Fizicianul american *Albert Abraham Michelson* (1852–1931) a perfecționat metoda de măsurare a vitezei de propagare a luminii. În anii 1924–1927 el a efectuat o serie de experiențe, folosind două vârfuri de munte din California, distanța dintre care era măsurată exact (vezi des.). Pe vârful muntelui Mauno-Wilson a fost instalată o lampă cu arc, de la care lumina trecea printr-o crăpătură și cădea pe o prismă cu 8 fețe din oglindă. Reflectându-se de la fața prisme, lumina cădea pe sistemul de oglinzi, amplasat pe vârful altui munte – San Antonio, se reflecta și se întorcea la prismă. Reflectându-se de la altă față a prisme, lumina nimerea în lunetă.

Când prisma începea să se rotească, lumina nimerea în lunetă numai la o anumită viteză de rotație a prisme — cu condiția, că în timpul trecerii luminii de la prismă până la sistemul de oglinzi și înapoi prisma era rotită cu 1/8 de rotație.

Cunoscând numărul de rotații n a prisme într-o secundă și distanța l dintre vârfuri, A. Michelson a determinat viteza v de propagare a luminii ($v = \frac{2l}{t}$, unde $t = \frac{1/8 \text{ rotații}}{n}$). Valoarea medie a vitezei de propagare a luminii, pe care a obținut-o savantul constituia 299 798 km/s.



Schema experienței lui A. Michelson



Facem totalurile

- Optica — capitolul fizicii, care studiază fenomenele legate cu propagarea undelor electromagnetice din domeniul optic (lumină vizibilă, radiație infraroșie și ultravioletă) și interacțiunea acestor unde cu substanțele.
 - Teoria corpusculară a lui I. Newton considera lumina ca un flux de particule pe care le emite un corp luminos, iar proprietățile particulelor le descria cu ajutorul legilor mecanicii clasice.
 - Teoria ondulatorie a lui H. Huygens considera lumina ca unde mecanice longitudinale, care se propagă în eterul universal, care umple tot spațiul.
 - Conform teoriei cuantice moderne lumina – flux de cuante, totodată pentru descrierea proprietăților lor nu se aplică legile mecanicii clasice, dar a celei cuantice.
 - Teoria ondulatorie actuală consideră lumina ca undă electromagnetică.
 - Existența a două teorii despre natura luminii (corpusculară și ondulatorie), care nu se contrazic una pe cealaltă, este condiționată de natura duală a luminii — dualismul undă-corpusul.



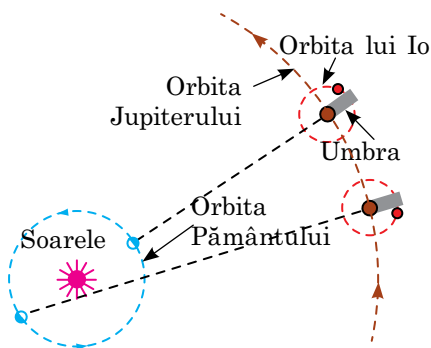
Întrebări pentru control

1. Ce este lumina? Care obiecte o radiază?
2. Cine este fondatorul teoriei corpusculare a luminii? Care sunt tezele principale ale ei?
3. Care fenomene optice nu au putut fi descrise pe baza teoriei corpusculare a luminii?
4. Cine este fondatorul teoriei ondulatorii a luminii? Care sunt tezele principale ale ei?
5. Cu ce este egală viteza de propagare a luminii? Cum ea a fost măsurată?
6. Care sunt concepțiile actuale despre natura luminii?
7. În ce constă esența dualismului undă-corpusul?



Exercițiul nr. 24

1. Una dintre concluziile teoriei corpusculare a lui I. Newton este, că viteza de propagare a luminii în substanță este mai mare decât viteza de propagare a luminii în vid. Oare este adevărat aceasta?
2. De ce în determinarea naturii luminii un rol semnificativ a jucat determinarea vitezei de propagare a luminii?
3. Amintiți-vă proprietățile principale ale undelor electromagnetice și dați exemple de confirmare a faptului, că lumina are aceste proprietăți.
4. Cunoscând distanța dintre vârfurile munților Mauno-Wilson și San-Antonio (vezi pag. 142), determinați frecvența medie, cu care se rotea prisma în experimentele lui A. Michelson.
5. Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați: de ce G. Galilei nu putut măsura viteza de propagare a luminii? Ce în «comportamentul» lui Io (satelitul lui Jupiter) ia permis lui O. Roemer să măsoare cu precizie viteza de propagare a luminii (vezi des.)? Ce dispozitiv a fost folosit în experimentele sale A. Fizeau? Când și cum a fost măsurată viteza de propagare a luminii cel mai precis?



Metoda astronomică a lui O. Roemer de determinare a vitezei de propagare a luminii

§ 25. REFLEXIA LUMINII. LEGILE REFLEXIEI LUMINII



T. G. Şevcenco
(acuarela, 1850)

La Cozma Prutcov este aforismul: «Dacă vei fi întrebat: ce este mai util — Soarele sau Luna? — răspunde: Luna. De aceea că Soarele luminează ziua, când și așa se vede, iar Luna — noaptea». Dar poate oare fi numită Luna drept sursă de lumină? Evident, că nu, doar Luna numai reflectă lumina, sursă a căreia este Soarele. Legile reflexiei luminii, ca și legea propagării rectilinii a luminii, au fost stabilite de către *Euclid* încă în sec. III î.e.n. Să ne amintim aceste legi.

Principiul lui Fermat

O generalizare a tuturor legilor opticii geometrice este principiul timpului cel mai scurt, numit în cinstea matematicianului francez *Pierre de Fermat* (1601–1665) **principiul lui Fermat**: *lumina întotdeauna își alege așa o traiectorie, încât la parcurgerea distanței dintre două puncte să consume cel mai scurt timp*. Pe baza principiului lui Fermat, se poate deduce matematic toate legile opticii geometrice.

De exemplu, cea mai scurtă distanță dintre două puncte este lungimea segmentului de dreaptă, ce unește aceste puncte. Dacă mediul este *omogen*, atunci viteza luminii nu se schimbă, deci pentru a cheltui cel mai scurt timp, lumina într-un mediu omogen se propagă *rectiliniu*. Dacă mediul este *neomogen*, atunci lumina «își va alege» cel mai scurt timp: «traiectoria» propagării ei se va curba – lumina *se va refracta*.

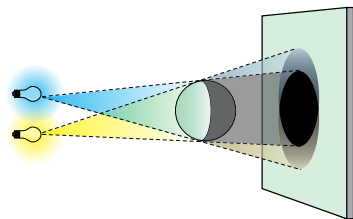


Fig. 25.1. Formarea umbrei și penumbrei

1 Legile opticii geometrice

Optica geometrică — capitolul opticii, care studiază legile propagării luminii în mediile transparente și principiile construirii imaginilor în sistemele optice fără a ținea cont de proprietățile ondulatorii ale luminii. Principala noțiune a opticii geometrice este *raza de lumină*.

Raza de lumină — aceasta-i linia, de-a lungul căreia se propagă fasciculul de energie luminoasă.

Raza de lumină — o noțiune pur geometrică, ea este utilizată pentru reprezentarea schematică a fasciculelor de lumină. Chiar când se spune: «raza solară», «raza refractată», «raza reflectată» etc., se are în vedere anume fasciculul de lumină, direcția căruia este dată de această rază.

La bazele opticii geometrice este pusă o serie de legi, stabilite pe cale experimentală.

- **Legea propagării rectilinii a luminii**: într-un mediu omogen transparent lumina se propagă *rectiliniu**.

- **Legea propagării independente a luminii**: fasciculele de lumină aparte nu influențează unul asupra altuia și se propagă independent.

- **Legile reflexiei și refracției luminii**.

? Amintiți-vă, consecința a căreia dintre legile menționate este formarea umbrei și penumbrei (fig. 25.1); obținerea imaginii în oglindă; obținerea imaginii în lentilă.

* De fapt, în geometrie, termenii «rază» și «linie dreaptă» au apărut tocmai pe baza reprezentărilor despre razele de lumină.

2 Amintim legile reflexiei luminii

Într-un mediu omogen lumina se propagă rectiliniu, până când nu atinge limita de separație cu alt mediu (de exemplu, suprafața corpului). La limita de separație dintre medii o parte din energia luminoasă se întoarce în primul mediu — acest fenomen se numește **fenomenul de reflexie a luminii**.

Dacă pe oglinda, fixată în centrul discului optic, de direcționat un fascicul îngust de lumină astfel, ca el să producă o fâșie luminoasă pe suprafața discului, atunci vom vedea că fasciculul reflectat tot va forma pe suprafața discului o fâșie luminoasă (fig. 25.2).

Raza, care indică direcția fasciculului de lumină, care cade pe o anumită suprafață se numește **rază incidentă**; raza, care indică direcția razei reflectate de lumină se numește **rază reflectată**.

Din cursul de fizică pentru clasa a 9-a voi știți, că *unghiul α dintre raza incidentă și perpendiculara, dusă din punctul de incidență al razei la suprafața de reflexie se numește unghi de incidență*; *unghiul β dintre raza reflectată și această perpendiculară se numește unghi de reflexie*.

Deplasând sursa de lumină și măsurând unghiurile de incidență și de reflexie ne putem convinge: ele de fiecare dată vor fi *egale* (fig. 25.3).

Vom atrage atenția asupra faptului, că *raza incidentă, raza reflectată și perpendiculara la suprafața de reflexie se află în același plan* — planul suprafeței discului, și vom formula **legile reflexiei luminii**:

1. Raza incidentă, raza reflectată și perpendiculara la suprafața de reflexie, dusă din punctul de incidență al razei se găsesc în același plan.
2. Unghiul de reflexie al luminii este egal cu unghiul ei de incidență: $\beta = \alpha$.

Din legea reflexiei luminii rezultă **reversibilitatea razelor de lumină**: *dacă raza incidentă de-o direcționat pe calea razei reflectate, atunci raza reflectată va merge pe calea celei incidente* (fig. 25.4).

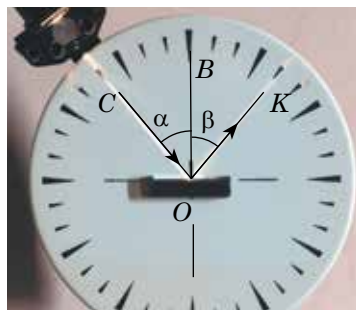


Fig. 25.2. Stabilirea legilor reflexiei luminii: CO – raza incidentă; OK – raza reflectată; α – unghi de incidență; β – unghi de reflexie



Fig. 25.3. Odată cu schimbarea unghiului de incidență al luminii variază și unghiul de reflexie al ei. Unghiul de reflexie de fiecare dată este egal cu unghiul de incidență



Fig. 25.4. Demonstrarea reversibilității razelor de lumină: raza reflectată merge pe calea razei incidente

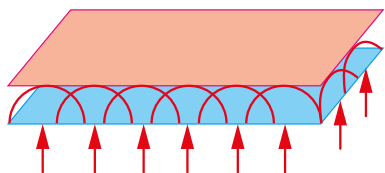


Fig. 25.5. Orice suprafață de undă a unei plane reprezintă prin sine un plan, iar razele, care dau direcția propagării undei sunt paralele între ele

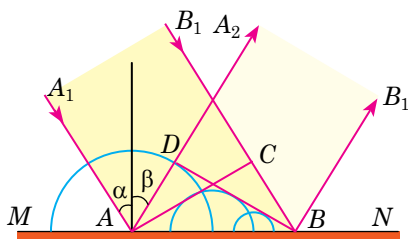


Fig. 25.6. Reflexia unei plane de la suprafața plană MN : suprafața de undă a unei incidente – planul AC , a unei reflectate – planul DB ; α – unghiul de incidență, β – unghiul de reflexie

DB — tangent la aceste emisfere. Razele AA_2 și BB_2 , care sunt perpendiculare pe suprafața de undă DB , vor indica direcția de propagare a undei reflectate.

În triunghiurile dreptunghice ADB și ACB ipotenuza AB este comună, cateta AD este egală cu cateta CB , deci aceste triunghiuri sunt egale, atunci $\angle DBA = \angle CAB$. În același timp $\angle \alpha = \angle CAB$, $\angle \beta = \angle DBA$ ca unghiuri cu laturile corespunzătoare perpendiculare. Deci, unghiul de incidență α este egal cu unghiul de reflexie β . Afară de aceasta, după cum rezultă din construcție, *raza incidentă, raza reflectată și perpendiculara dusă din punctul de incidență la suprafața de reflexie sunt situate în același plan*. Astfel, noi am obținut legea reflexiei luminii pe baza principiului lui Huygens.

4 De ce noi vedem corpurile din jur

Voi vedeți corpurile numai atunci, când de la aceste corpuri în ochiul vostru nimeresc fasciculele de lumină. Însă majoritatea obiectelor, care ne înconjoară nu sunt surse de lumină — noi le vedem de aceea că ele reflectă lumina, care cade pe suprafața lor de la o sursă oarecare. Lumina nu numai se reflectă de la corpurile fizice, dar și este absorbită de ele. Cel mai bine reflectă lumina — oglinzile și corpurile de culoare albă: ele pot reflecta până la 95% din lumina incidentă.

Sunt distinse *reflexia de oglindă a luminii* (de la suprafețele netede) și *reflexia difuză (împrăștiată) a luminii* (de la suprafețele neuniforme, rugoase).


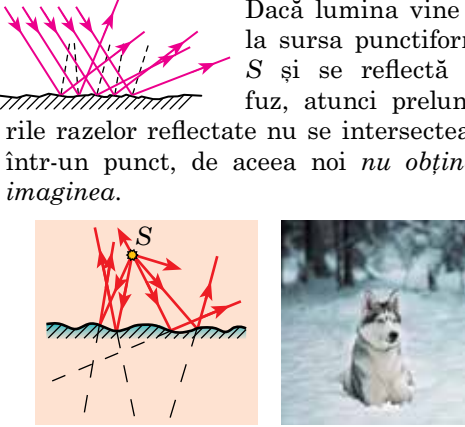
3 Demonstrarea teoretică a legilor reflexiei luminii

Legile reflexiei luminii pot fi obținute, aplicând principiul lui Huygens. Pentru aceasta să examinăm unda plană (fig. 25.5), care cade pe suprafața de separare a două medii.

Direcția de propagare a undei o vom da cu razele A_1A și B_1B , care sunt reciproc paralele și perpendiculare pe suprafața de unde AC (fig. 25.6).

Diferite porțiuni ale suprafeței de undă ajung suprafața MN nu în același timp: excitarea oscilațiilor în punctul A începe mai devreme, decât în punctul B , cu intervalul de timp $\Delta t = \frac{CB}{v}$, unde v — viteza de propa-

gare a undei. În momentul când unda ajunge în punctul B , unda secundară cu centrul în punctul A deja se va propaga la o anumită distanță și va prezenta prin sine o emisferă de rază $r = AD = v\Delta t = CB$. În același timp undele secundare, excitate în punctele, amplasate între punctele A și B , tot vor prezenta emisfere, dar de raze mai mici. Suprafața de undă a undei reflectate — planul

Reflexia de oglindă	Reflexia difuză (împrăștiată)
<p>Reflexia luminii este de oglindă, dacă fasciculul paralel de raze de lumină, care cade pe o suprafață plană după reflexie de la suprafață rămâne paralel.</p> <p>După reflexia de oglindă a luminii, care vine de la o sursă punctiformă S, prelungirile razelor reflectate se intersectează într-un punct S_1, care este <i> imaginea virtuală </i> a punctului S. Imaginea totalității punctelor obiectului dă imaginea obiectului.</p>  <p>Imaginea de oglindă este posibilă numai de la suprafețe foarte netede. Ele așa și sunt numite — <i>suprafețe oglinzite</i>. Suprafața oglinzită se numește oglinza plană.</p>	<p>Reflexia luminii este difuză, dacă fasciculele paralele de raze de lumină, care cad pe o suprafață plană după reflexie de la suprafață se propagă în direcții diferite.</p> <p>Dacă lumina vine de la sursa punctiformă S și se reflectă difuz, atunci prelungirile razelor reflectate nu se intersectează într-un punct, de aceea noi <i>nu obținem imaginea</i>.</p>  <p>Deoarece după reflexia difuză razele reflectate se propagă în diferite direcții, noi putem vedea obiectul iluminat din orice parte.</p> <p>Majoritatea suprafețelor reflectă lumina difuz.</p>

? Folosind fig. 25.7, amintiți-vă regulile construirii imaginilor în oglinda plană.



Facem totalurile

- Optica geometrică — capitoul opticii, care studiază legile propagării luminii în mediile transparente și principiile construirii imaginilor în sistemele optice fără a ține cont de proprietățile ondulatorii ale luminii.

- Raza de lumină — aceasta-i linia, de-a lungul căreia se propagă fasciculul de energie luminoasă.

- Legile de bază ale opticii geometrice:

- ✓ legea propagării rectilinii a luminii: într-un mediu omogen lumina se propagă rectiliniu;

- ✓ legea propagării independente a luminii: fasciculele de lumină aparte nu influențează unul asupra altuia și se propagă independent;

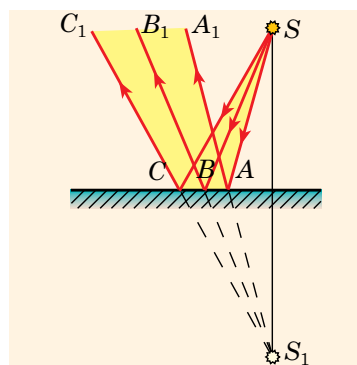


Fig. 25.7. Obținerea imaginii sursei punctiforme de lumină în oglinda plană: S – sursa de lumină; S_1 – imaginea virtuală a sursei de lumină. Imaginea S_1 este simetrică sursei S în raport cu suprafața oglinzii

✓ legile reflexiei luminii: raza incidentă, raza reflectată și perpendiculara la suprafața de reflexie, dusă din punctul de incidență al razei se găsesc în același plan; unghiul de reflexie al luminii este egal cu unghiul ei de incidență;

✓ legile refracției luminii.

• Legile opticii geometrice permit descrierea propagării luminii în diferite sisteme optice.



Întrebări pentru control

1. Ce este obiectul de studiu al opticii geometrice? **2.** Dați definiția razei de lumină **3.** Formulați legile: propagării rectilinii a luminii; propagării independente a luminii; reflexiei luminii. Dați exemple, care ilustrează aceste legi. **4.** Formulați și explicați principiul lui Fermat. **5.** Dați definițiile unghiului de incidență și unghiului de reflexie. **6.** Demonstrați legile reflexiei luminii, folosind principiul lui Huygens. **7.** De ce noi vedem corpurile, care ne înconjoară? **8.** Care reflexie a luminii se numește de oglindă? difuză? **9.** Ce caracteristici are imaginea obiectului în oglinda plană?



Exercițiul nr. 25

- De la suprafața zăpezii se reflectă 85% din energia luminii. De ce atunci noi nu vedem în zăpadă imaginea sa?
- Unghiul dintre razele incidentă și reflectată constituie 80° . Cu ce este egal unghiul de incidență?
- Cum trebuie să fie situat ochiul, ca printr-o crăpătură mică a gardului să se poată vedea cât mai multe obiecte? Explicați răspunsul.
- O rază orientată în direcție orizontală cade pe un ecran vertical. După ce în calea razei s-a instalat o oglindă plană, spotul de pe ecran s-a deplasat pe ecran cu 20 cm mai sus. Determinați unghiul de incidență al razei pe oglindă, dacă distanța de la oglindă până la ecran este de 40 cm.
- Utilizând principiul lui Fermat, determinați pe care cale e mai bine să se miște stăpâna, pentru a lua apă din râu pentru stingerea rugului (fig. 1).
- De la o suprafață oglinzită se reflectă nu numai lumina vizibilă, dar și razele infraroșii (termice). Cum se poate păstra căldura, aplicând această proprietate?



Fig. 1



Însărcinare experimentală

Amplasați două oglinzi sub un unghi $\alpha = 90^\circ$ una față de alta. Așezați între oglinzi un obiect oarecare, de exemplu un măr (fig.2). Câte imagini vedeți? Micșorând treptat unghiul dintre oglinzi, măsurați acest unghi de fiecare dată, când cantitatea de imagini crește cu 1. Stabiliți dependența matematică dintre unghiul α și numărul de imagini N ale obiectului. Câte imagini ale obiectului veți obține, dacă veți plasa oglinzile vizavi una față de cealaltă?



Fig. 2

§ 26. REFRAKȚIA LUMINII. LEGILE REFRAKȚIEI LUMINII. REFLEXIA TOTALĂ A LUMINII



Dacă, aflându-ne pe malul unui bazin cu apă, ne vom stăruii să determinăm la ochi adâncimea lui, atunci totdeauna ea o să ne pară mai mică decât este în realitate. Lingura sau paiul din păharul cu apă ne pare că sunt frânte la frontiera apei cu aerul. După cum deja știți, toate aceste fenomene se explică cu ajutorul refracției luminii. Să ne amintim pricina ei și să stabilim legea refracției luminii.

1 Care este pricina refracției luminii

Dacă un fascicul de lumină cade pe suprafața de separație a două medii transparente, atunci o parte din energia luminoasă revine în primul mediu, formând fasciculul de lumină reflectată, iar o parte — trece prin suprafața de separare în al doilea mediu, formând fasciculul de lumină care, de regulă, își schimbă direcția (fig. 26.1).

Schimbarea direcției de propagare a luminii la trecerea ei prin suprafața de separație a două medii se numește **refracție a luminii**.

Raza, care indică direcția fasciculului refractat de lumină se numește **rază refractată**. Unghiul, format de raza refractată și perpendiculara la suprafața de separație dintre două medii dusă din punctul de incidență al razei se numește **unghi de refracție**.

Legea cantitativă, care descrie refracția luminii a fost stabilită pe cale experimentală în a. 1621 de către naturalistul olandez *Vilebrod van Royen Snellius* (1580–1626) și a obținut denumirea de *legea lui Snellius*. Să deducem această lege cu ajutorul principiului lui Huygens.

2 Deducerea legii refracției luminii pe baza principiului lui Huygens

Vom studia o undă plană, ce cade pe suprafața de separație MN a două medii (fig. 26.2). Dăm direcția de propagare a undei cu ajutorul razelor A_1A și B_1B , paralele între ele și perpendiculare pe suprafața de undă AC .

Evident, că va ajunge la suprafața MN mai întâi raza A_1A , și numai apoi la ea va ajunge raza B_1B — peste timpul $\Delta t = \frac{CB}{v_1}$, unde v_1 — viteza luminii în primul mediu.

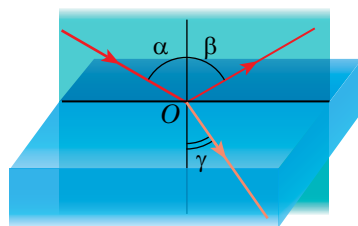


Fig. 26.1. Observarea refracției luminii în cazul trecerii ei din aer în sticlă: α — unghiul de incidență; β — unghiul de reflexie; γ — unghiul de refracție

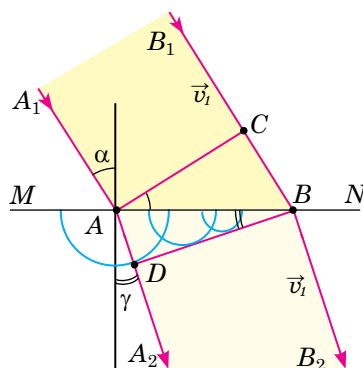


Fig. 26.2. Refracția unei plane la limita de separare MN : suprafața de undă a unei incidente — planul AC , a unei refractate — planul DB ; α — unghiul de incidență, γ — unghiul de refracție

În momentul, când unda secundară în punctul B numai va începe să se excite, unda de la punctul A deja se va propaga în al doilea mediu la distanța $AD = v_2 \Delta t$, unde v_2 — viteza luminii în al doilea mediu. Ducând planul DB , tangent la toate undele secundare, vom obține suprafața de undă a unei refractate..

Să cercetăm triunghiurile dreptunghice ACB și ADB . În triunghiul ACB unghiul CAB este egal cu unghiul de incidență α (ca unghiuri cu laturile respectiv perpendiculare), deci, $CB = AB \sin \alpha$. Ținând cont, că $CB = v_1 \Delta t$, aflăm AB :

$AB = \frac{v_1}{\sin \alpha} \Delta t$ (1). Analogic din triunghiul ADB unghiul ABD este egal cu unghiul de refracție γ , deci, $AD = AB \sin \gamma$. Ținând cont, că $AD = v_2 \Delta t$, aflăm AB :

$AB = \frac{v_2}{\sin \gamma} \Delta t$ (2). Comparând părțile drepte ale egalităților (1) și (2), avem:

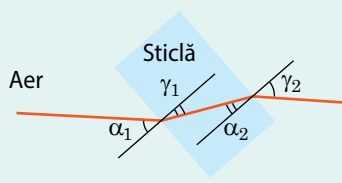
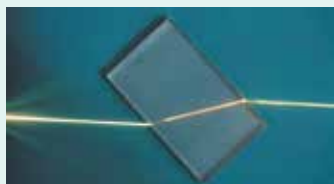
$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$, unde n_{21} — indicele relativ de refracție (indicele de refracție al mediului 2 în raport cu mediul 1) — mărime constantă pentru două medii date, care nu depinde de unghiul de incidență al luminii.

Proprietățile refracției luminii

Cu cât se schimbă mai mult viteza luminii, cu atât lumina se refractă mai mult.

Dacă raza de lumină (vezi des.) trece într-un mediu cu densitatea optică mai mare (viteza luminii scade: $v_2 < v_1$), atunci unghiul de refracție este mai mic decât unghiul de incidență: $\gamma_1 < \alpha_1$.

Dacă raza de lumină trece într-un mediu cu o densitate optică mai mică (viteza luminii crește: $v_2 > v_1$), atunci unghiul de refracție este mai mare decât unghiul de incidență: $\gamma_2 > \alpha_2$.



Legile refracției luminii (legile lui Snellius)

1. Raza incidentă, raza refractată și perpendiculara pe suprafața de separație dintre două medii dusă din punctul de incidență al razei sunt situate în același plan.

2. Pentru două medii date raportul sinusului unghiului de incidență α către sinusul unghiului de refracție γ este o mărime constantă:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}$$

3

Ce caracterizează indicele de refracție

Indicele relativ de refracție arată de câte ori viteza luminii în mediul 1 este mai mare decât viteza luminii în mediul 2:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

Anume schimbarea vitezei de propagare a luminii în cazul trecerii dintr-un mediu transparent în altul este pricina refracției luminii.

Este primit de-a vorbi despre **densitatea optică a mediului**: cu cât este mai mare densitatea optică a mediului, cu atât este mai mică viteza luminii în acest mediu. Astfel, densitatea optică a apei este mai mică decât densitatea optică a diamantului, respectiv viteza luminii în apă

este mai mare, decât în diamant. De obicei viteza luminii în mediu se compară cu viteza ei în vid.

Mărimea fizică, care caracterizează densitatea optică a mediului și arată de câte ori viteza de propagare a luminii în mediu este mai mică decât în vid se numește **indice de refracție absolut al mediului**:

$$n = \frac{c}{v}$$

Indicele de refracție absolut al mediului depinde de starea fizică a mediului (temperatura, densitatea ș.a.) și de frecvența unde luminoase. De aceea în tabele de regulă se indică starea mediului și frecvența unde luminoase, sau indicele mediu pentru domeniul dat de lungimi de undă (vezi tab. 1).

? Demonstrați, că indicele relativ de refracție poate fi determinat după formula $n_{21} = n_2 / n_1$, unde n_1 , n_2 — indicii de refracție absoluți ai mediilor întâi și al doilea corespunzător.

4 Reflexia totală a luminii

Să cercetăm cazul, când lumina trece dintr-un mediu cu densitatea optică mai mare în mediul cu densitatea optică mai mică (vezi fig. 26.3). În acest caz $n_1 > n_2$, de aceea conform legii refracției luminii $\sin \alpha < \sin \gamma$. Deci, unghiul de refracție γ este mai mare decât unghiul de incidență α .

Să examinăm cum se va schimba unghiul de refracție a fasciculului luminos în cazul măririi unghiului de incidență. Vom orienta un fascicul îngust de lumină pe suprafața de separație a două medii și treptat vom mări unghiul de incidență (fig. 26.3). O parte din lumină va trece prin limita de separare, iar o parte se va reflecta. Vedem, că fasciculul refractat de lumină se apropie de suprafața de separare a mediilor, totodată strălucirea lui va scădea, iar strălucirea fasciculului reflectat, invers, se va mări. La un anumit unghi de incidență α_0 unghiul de refracție se apropie de 90° și lumina se reflectă complet — fasciculul refractat de lumină dispăre, iar toată energia luminoasă se întoarce în primul mediu (vezi de asemenea tab. 2). Evident, că în cazul majorării de mai departe a unghiului de incidență refracția luminii nu se va observa.

Tabelul 1
Indicele de refracție absolut n (mediu pentru razele din domeniul vizibil)

Substanța	n
Aerul	1,003
Gheața	1,31
Apa	1,33
Alcool etilic	1,36
Benzina	1,50
Sticla	1,52
Diamantul	2,42

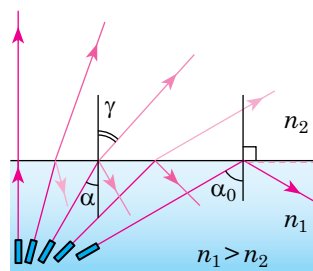


Fig. 26.3. Lumina cade dintr-un mediu cu densitatea optică mai mare într-un mediu cu densitatea optică mai mică

Tabelul 2
Partea energiei reflectate în timpul trecerii luminii din sticlă în aer

Unghiul de incidență α	Unghiul de incidență γ	Partea energiei reflectate, %
0°	0°	4,7
10°	16°	4,7
20°	32°	5,0
30°	51°	6,8
35°	63°	12
39°	79°	36
40°	90°	100
45°	—	100

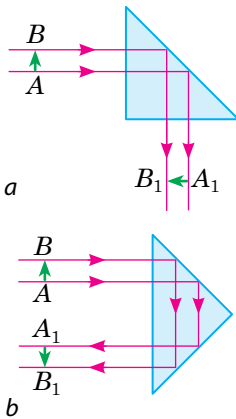


Fig. 26.4. Mersul razelor luminoase în prismele de inversiune (a) și rotativă (b) cu reflexie totală. Cu săgeți verzi este indicat obiectul AB și imaginea lui A_1B_1

Fenomenul, în care lipsește refracția luminii, adică lumina se reflectă complet de la limita de separație cu mediul cu o densitate optică mai mică, se numește **reflexie internă totală a luminii**.

Cel mai mic unghi de incidență, începând cu care toată energia luminoasă se reflectă complet de la limita de separație a două medii transparente se numește **unghi limită a reflexiei interne totale** α_0 .

Luând în considerație, că la unghiul de incidență $\alpha = \alpha_0$ unghiul de refracție γ este egal cu 90° , și bazându-ne pe legea lui Snellius $\left(\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}\right)$, avem: $\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$, sau $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$, unde n_1 și n_2 — indicii de refracție absoluți ai mediilor întâi și al doilea corespunzător.

Dacă lumina cade dintr-un anumit mediu transparent pe limita de separație cu aerul sau vidul ($n_2 \approx 1$), atunci

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n_1},$$

unde n_1 — indicele absolut de refracție al mediului.

5 Unde este utilizat fenomenul reflexiei totale

Reflexia totală a luminii a cunoscut o aplicație largă în tehnica optică. De exemplu, în multe aparate optice trebuie de schimbat direcția propagării a fasciculelor de lumină cu pierderi minime de energie de pe suprafețele pieselor optice. În acest scop sunt întrebuințate așa-numitele *prisme de reflexie totală* (vezi fig. 26.4).

Cel mai intens fenomenul reflexiei totale a luminii este utilizat la crearea sistemelor optice cu fibre. Dacă se orientează la capătul unui tub integrat de sticlă un fascicul de lumină, atunci după multiple reflexii lumina va ieși la capătul opus al lui. Aceasta are loc independent de aceea, cum va fi tubul — îndoit sau rectiliniu. De aceea primii *ghizi de lumină* (fibre elastice, care conduc lumina pe baza reflexiei totale) au început să fie utilizate pentru iluminarea locurilor greu accesibile: fasciculul luminos este direcționat la un capăt al conductorului de lumină, iar al doilea capăt iluminează locul trebuincios. Această tehnologie este aplicată în medicină pentru cercetarea organelor interne (endoscopia), în tehnică, în particular pentru determinarea defectelor din interiorul motoarelor fără demontarea lor.

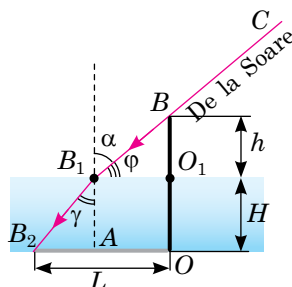
Însă cel mai mult sunt răspândite conductoarele de lumină ca cabluri pentru transmiterea informației. Așa, în comparație cu cablul standard din aramă cablul din fibre optice este cu mult mai ieftin și ușor, el practic nu-și schimbă proprietățile sale sub acțiunea mediului înconjurător, permite de-a transmite mai multă informație la distanțe mari fără amplificare ș.a. la ora actuală liniile de telecomunicație cu cabluri din fibre optice înlocuiesc vertiginos pe cele tradiționale.

6 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. În fundul unui bazin cu apă cu adâncimea de 2,5 m este înălțat un stâlp astfel, că partea lui de sus se ridică deasupra apei cu 1,0 m. Calculați lungimea umbrei stâlpului pe fundul oglinzii apei, dacă înălțimea Soarelui deasupra orizontului este de 30° .

Analiza problemei fizice.

Efectuăm desenul explicativ. În punctul B_1 (pe suprafața de separare a aerului și apei) propagarea în linie dreaptă a razei CB este perturbată. Lungimea L a umbrei de la stâlp va fi egală cu lungimea segmentului OB_2 : $L = OB_2 = B_2A + AO = B_2A + B_1O_1$. Așadar, este necesar: 1) folosind legea propagării rectilinii a luminii de aflat poziția punctului B_1 ; 2) folosind legea refracției de aflat direcția propagării B_1B_2 ; 3) folosind propagarea rectilinie a luminii în apă, de determinat poziția punctului B_2 . Vom considera, că indicele de refracție al apei în raport cu aerul este egal cu indicele de refracție absolut al apei.



Se dă:

$$H = 2,5 \text{ m}$$

$$h = 1,0 \text{ m}$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$n = 1,33$$

$L = ?$

Căutarea modelului matematic, rezolvarea. Lungimea umbrei stâlpului pe fundul bazinului este egal cu: $L = B_2A + B_1O_1$ (*). Din triunghiul dreptunghic BO_1B_1 avem: $B_1O_1 = BO_1 \text{ ctg } \varphi = h \text{ ctg } \varphi = 1,0 \text{ m} \cdot \text{ctg } 30^\circ = 1,73 \text{ m}$. Unghiul de incidență α a razei BB_1 este egal: $\alpha = 90^\circ - \varphi = 60^\circ$.

Conform legii refracției luminii: $\sin \gamma = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{\sin 60^\circ}{1,33} = \frac{0,866}{1,33} = 0,651$

Așadar, $\gamma \approx 41^\circ$. Din triunghiul dreptunghic B_2AB_1 avem:

$$B_2A = B_1A \text{ tg } \gamma = H \text{ tg } \gamma = 2,5 \text{ m} \cdot \text{tg } 41^\circ = 2,17 \text{ m}.$$

Ținând cont de corelația (*) obținem: $L = 2,17 \text{ m} + 1,73 \text{ m} = 3,9 \text{ m}$.

Răspuns: $L = 3,9 \text{ m}$.



Facem totalurile

- Schimbarea direcției de propagare a luminii la trecerea ei prin suprafața de separație a două medii se numește refracție a luminii

- Refracția luminii este subordonată legilor lui Snellius.

1. Raza incidentă, raza refractată și perpendiculara pe suprafața de separație dintre două medii dusă din punctul de incidență al razei sunt situate în același plan.

2. Pentru două medii date raportul sinusului unghiului de incidență către sinusul unghiului de refracție este o mărime constantă: $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$,

unde n_{21} — indicele relativ de refracție, care arată de câte ori viteza v_1 a propagării luminii în primul mediu este mai mare decât viteza v_2 de propagare a luminii în al doilea mediu.

- Dacă la trecerea luminii dintr-un mediu în altul viteza luminii se micșorează, atunci se spune că lumina a trecut dintr-un mediu cu densitatea optică mai mică într-un mediu cu densitatea optică mai mare, și invers.

- Dacă raza de lumină trece dintr-un mediu cu densitatea optică mai mare într-un mediu cu densitatea optică mai mică, atunci la atingerea unui anumit unghi limită de incidență are loc reflexia totală a luminii.



Întrebări pentru control

1. Ce fenomene se observă, când lumina trece prin limita de separare a două medii? 2. Care unghi se numește de refracție? 3. Formulați legile refracției luminii și demonstrați-le, folosind principiul lui Huygens. 4. În ce constă pricina refracției luminii? 5. Care este conținutul fizic al indicilor relativ și absolut ai refracției luminii? 6. În ce condiții la suprafața de separare a două medii se observă reflexia internă totală? 7. Ce este unghiul limită a reflexiei totale? Cum este el legat cu indicele de refracție? 8. Dați exemple de aplicare a reflexiei interne totale a luminii.



Exercițiul nr. 26

- Lumina cade din aer pe o placă plan-paralelă din sticlă (fig. 1). Transcrieți desenul în caiet, reprezentați mersul razei de mai departe. Indicați unghiurile de incidență și unghiurile de refracție. În care mediu viteza de propagare a luminii este mai mare?
- Determinați viteza de propagare a luminii în diamant; apă; benzină.
- Care este unghiul reflexiei totale interne pentru suprafața de separare a mediilor: apă — aer; diamant — apă; sticlă — apă?
- Determinați diametrul unui spot rotund luminos de pe suprafața apei dintr-un bazin, dacă becul care formează acest spot este amplasat la adâncimea de 2,4 m. Lumina de la becul se propagă în toate direcțiile.
- Calculați grosimea d a lamelei plan-paralele din sticlă (fig. 2), dacă după trecerea prin lamelă raza de lumină se deplasează la distanța $l = 4$ mm. Unghiul de incidență a luminii pe lamelă $\alpha = 45^\circ$.
- Examinați fig. 3. Distanța de la pescarul, ce stă pe marginea malului, până la luntre — 10 m, distanța de la marginea malului până la luntre — 6 m. Folosind principiul lui Fermat, determinați timpul minim, care-i va fi necesar pescarului pentru a ajunge la luntre, dacă viteza mișcării pescarului pe mal este de 3 m/s, iar prin iaz — de trei ori mai mică.
- Dacă lumina se propagă printr-un mediu neomogen din punct de vedere optic, indicele de refracție al căruia variază lin de la punct la punct, atunci direcția de propagare a luminii de asemenea se schimbă lin («traietoriile» razelor de lumină — linii curbate). Schimbarea direcției de propagare a luminii în așa cazuri de obicei se numește *refracția luminii* (de la latin. *refractio* — refracție). Anume refracția luminii este cauza formării mirajelor (fig. 4), din cauza refracției luminii Soarele și stelele par a fi situate mai sus de orizont, decât este în realitate... Aflați despre fenomenele optice, legate de refracția luminii în atmosfera Pământului, mai detaliat și pregătiți mesaje scurte.

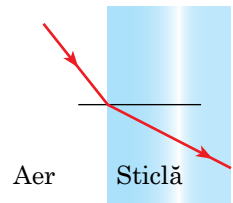


Fig. 1

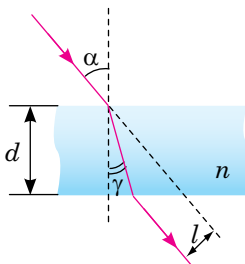


Fig. 2

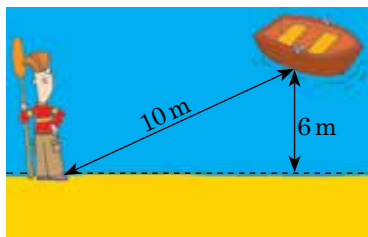


Fig. 3

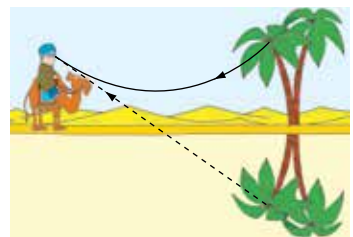


Fig. 4

§ 27. LENTILE. CONSTRUCȚIA DE IMAGINI ÎN LENTILE. FORMULA LENTILEI SUBȚIRE



Voi deja știți, că refracția luminii se utilizează în lentile. Regulile de construire a imaginilor, obținute cu ajutorul lentilelor, sunt cunoscute din timpurile Evului mediu. Așa, utilizând lentilele specialistul olandez în optică *Zaharii Iansen* (1585–1635) a construit microscopul, iar *Galileo Galilei* a inventat telescopul. Așadar, să ne amintim principalele caracteristici ale lentilelor.

1 Ce este lentila

Lentila (sferică) — un corp transparent, delimitat din ambele părți de suprafețe sferice*.

În conformitate cu forma lentilele se împart în *convexe* și *concave* (fig. 27.1).

Dacă grosimea lentilei d este de multiple ori mai mică decât razele R_1 și R_2 ale suprafețelor sferice, care delimitează lentila, atunci o astfel de lentilă se numește *subțire* (fig. 27.2). În continuare va fi vorba anume despre lentila subțire.

Dreapta, care trece prin centrele suprafețelor sferice, care delimitează lentila se numește **axă optică principală a lentilei**. Punctul lentilei, amplasat pe axa optică principală și prin care trec razele de lumină fără ași schimba direcția sa, se numește **centrul optic al lentilei**.

Acțiunea lentilei se bazează pe fenomenul refracției luminii: raza de lumină, care cade pe lentilă se refractă pe una dintre suprafețele ei sferice, se propagă rectiliniu în interiorul lentilei și din nou se refractă pe a doua suprafață a lentilei (fig. 27.3).

Dacă razele, ce cad pe lentilă intră dintr-un punct, atunci după trecerea prin lentilă ele de asemenea se adună (se intersectează) într-un punct, adică lentila dă imaginea punctului, și deci și a obiectului ca o totalitate de puncte.

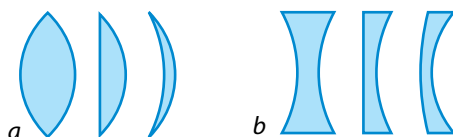


Fig. 27.1. Diferite tipuri de lentile în secțiune: *a* – lentile convexe (biconvexă, plan-convexă, concavă-convexă); *b* – lentile concave (biconcave, plan-concavă, convexă-concavă)

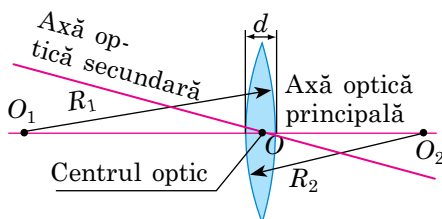


Fig. 27.2. Lentila sferică subțire: $d \ll R_1$, $d \ll R_2$

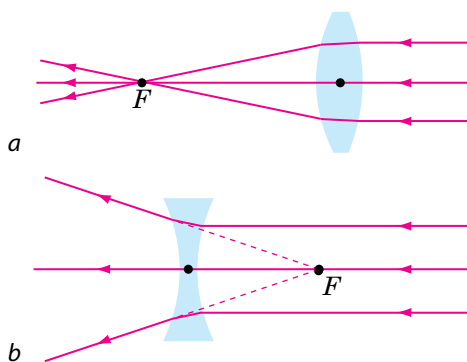


Fig. 27.3. Mersul razelor în lentile: *a* – lentila convergentă, F – focarul principal real al lentilei; *b* – lentila divergentă, F – focarul principal virtual al lentilei

* Una dintre suprafețe poate fi *un plan* (planul poate fi considerat o sferă cu rază infinită).

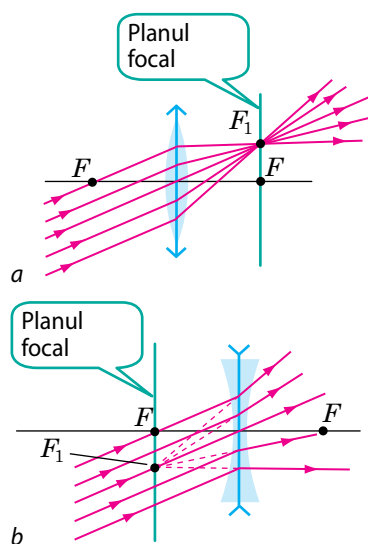


Fig. 27.4. Mersul fasciculului paralel de raze după refracția în lentila convergentă (a); în lentila divergentă (b)

Puterea optică a lentilei

Puterea optică a lentilei este legată cu razele suprafețelor sferice, care o delimitează prin formula:

$$D = \left(\frac{n_1}{n_{\text{med}}} \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

unde n_{el} , n_{med} indicii absoluți ai refracției materialului, din care este confecționată lentila, și a mediului, în care se află lentila; R_1 și R_2 — razele de curbură ale suprafețelor sferice care delimitează lentila. Pentru suprafața convexă R este luat cu semnul «+», pentru cea concavă — cu semnul «-», pentru cea plană — $R = \infty$. Analiza formulei mărturisește: dacă $n_1 < n_{\text{med}}$, atunci lentila convexă este convergentă, iar cea concavă — divergentă; dacă $n_1 > n_{\text{med}}$, atunci lentila convexă este divergentă, iar cea concavă — convergentă.

Una dintre principalele proprietăți ale lentilei este aceea, că razele paralele după refracție în lentilă se intersectează într-un punct sau într-un punct se intersectează prelungirile razelor refractate. Dacă razele paralele, trecând prin lentilă se adună într-un punct, atunci această lentilă se numește *convergentă* (fig. 27.3, a). Dacă razele paralele după trecerea prin lentilă ies ca un fascicul divergent, iar într-un punct se intersectează prelungirile acestor raze, atunci așa o lentilă este *divergentă* (fig. 27.3, b).

■ Punctul F , în care după refracție se adună razele (sau prelungirile lor), care cad pe lentilă paralel cu axa optică principală a ei se numește **focar principal al lentilei**.

Focarul principal al lentilei convergente este real (în punctul F se intersectează anume razele refractate), iar *al lentilei divergente — virtual* (în punctul F se intersectează prelungirile razelor refractate). *Fiecare lentilă are două focare principale*, situate la aceeași distanță de la centrul optic al lentilei.

În cazul când razele paralele cad pe lentilă *ne paralel* cu axa ei optică (fig. 27.4), punctul, în care se intersectează aceste raze se numește *focar secundar al lentilei* (punctul F_1 în fig. 27.4). Astfel de focare în lentilă sunt o mulțime, și ele toate sunt situate într-un plan — în *planul focal al lentilei*, care trece prin focarul principal al lentilei perpendicular pe axa ei optică principală.

2 Care mărimi fizice caracterizează lentila

■ **Distanță focală F a lentilei** — distanța de la centrul optic al lentilei până la focarul principal al ei.*

Unitatea de măsură a distanței focale în SI — metrul:

$$[F] = 1 \text{ m (m)}.$$

Distanța focală a lentilei *convergente* este considerată *pozitivă*, iar a celei *divergente* — *negativă*.

* În cele ce urmează *focarul principal al lentilei* îl vom numi *focarul lentilei*.

Cu cât mai puternic lentila refractă lumina, cu atât mai mică este distanța ei focală.

Mărimea fizică, care caracterizează proprietățile refractare ale lentilei și este inversă la distanța ei focală se numește **putere optică D a lentilei**:

$$D = \frac{1}{F}$$

Unitatea de măsură a puterii optice — **dioptria**: $[D] = 1$ dptr.

1 dioptrie — aceasta-i puterea optică a unei astfel de lentile, distanța focală a căreia este egală cu 1 metrul: $1 \text{ dptr} = 1 \text{ m}^{-1}$.

Dacă lentila este *convergentă*, puterea optică a ei este *pozitivă*, dacă lentila este *divergentă* — puterea optică a ei este *negativă*.

? Determinați, lentile convergente sau divergente sunt în ochelari, dacă f puterea optică a acestor lentile constituie +2 dptr; -3 dptr. Care sunt distanțele focale ale acestor lentile?

3 Cum de construit imaginea în lentilă

Orice obiect poate fi reprezentat ca o totalitate de puncte. Fiecare punct al obiectului emite (sau reflectă) raze în toate direcțiile. La formarea imaginii în lentilă iau parte o mulțime de raze, însă pentru construirea imaginii unui oarecare punct S e suficient de găsit punctul de intersecție al oricăror două raze, ce ies din punctul S și trec prin lentilă. De obicei pentru aceasta se alege două dintre trei «raze comode» (fig. 27.5). Punctul S_1 va fi **imaginea reală** a punctului S , dacă în punctul S_1 se intersectează *anume razele refractate* (fig. 27.5, a). Punctul S_1 va fi **imaginea virtuală** a punctului S , dacă în punctul S_1 se intersectează *prelungirile* razelor refractate (fig. 27.5, b).

Să reprezentăm schematic obiectul cu o săgeată AB și să-l îndepărtăm de la lentilă la o distanță mai mare de $2F$ (fig. 27.6, a).

Mai întâi vom construi imaginea punctului B , pentru aceasta ne vom folosi de două «raze comode» (razele 1 și 2). După refracție în lentilă ele se vor intersecta în punctul B_1 . Așadar, punctul B_1 este imaginea reală a punctului B .

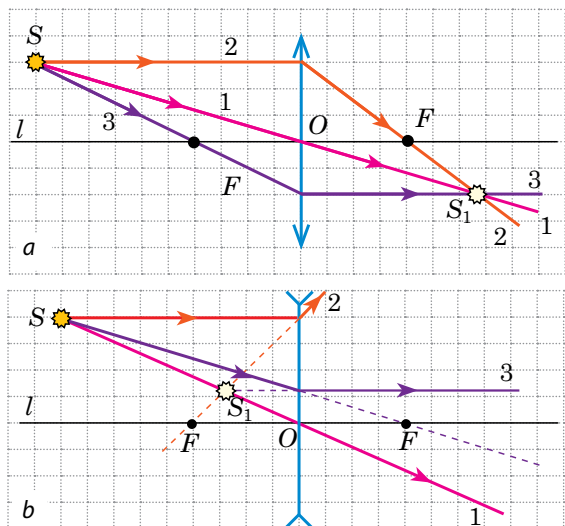


Fig. 27.5. Cele mai simple trei raze din construcție («raze comode»):

- 1 – raza, care trece prin centrul optic O al lentilei: această rază nu-și schimbă direcția sa;
- 2 – raza paralelă cu axa optică principală l a lentilei: după refracție în lentilă această rază trece prin focarul F (a) sau prin focarul F trece prelungirea ei (b);
- 3 – raza, care trece prin focarul F : după refracție în lentilă această rază merge paralel cu axa optică principală l a lentilei (a, b)

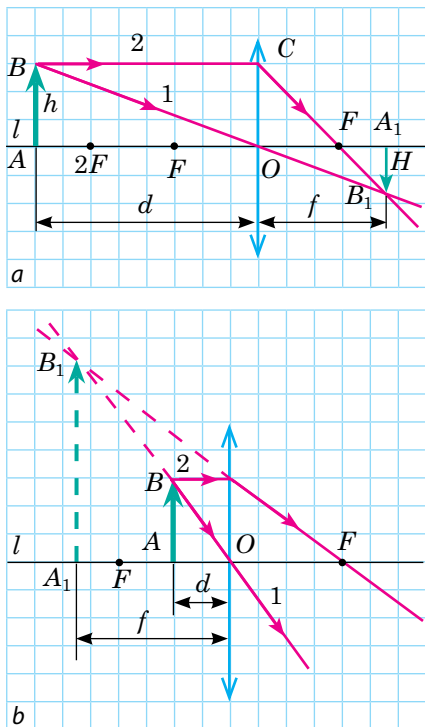


Fig. 27.6. Construirea imaginii A_1B_1 a obiectului AB în lentila convergentă: *a* – obiectul AB este situat după focarul dublu al lentilei; imaginea este reală, micșorată, răsturnată; *b* – obiectul AB este situat între focar și lentilă, imaginea obiectului este virtuală, mărită, dreaptă

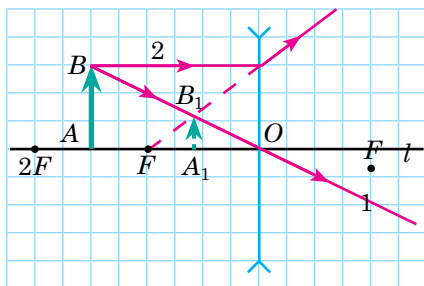


Fig. 27.7. Construirea imaginii A_1B_1 a obiectului AB , amplasat între focar și focarul dublu al lentilei divergente; imaginea obiectului este virtuală, micșorată, dreaptă

Deoarece obiectul AB este amplasat perpendicular pe axa optică principală l a lentilei, imaginea lui de asemenea va fi perpendiculară pe ea. De aceea pentru construirea imaginii punctului A ducem perpendiculara din punctul B_1 pe axa optică principală l . Punctul A_1 de intersecție al perpendiculararei și a axei l și este imaginea punctului A . Așadar, A_1B_1 — imaginea obiectului AB , obținută cu ajutorul lentilei convergente. Vedem: dacă obiectul este situat după focarul dublu al lentilei convergente, imaginea lui obținută cu ajutorul lentilei convergente este reală, micșorată, răsturnată. Așa o imagine se obține, de exemplu, pe retina ochiului sau pe matricea aparatului de fotografiat.

❗ Construiți imaginea obiectului, situat între focar și focarul dublu al lentilei și convingeți-vă, că imaginea va fi reală, mărită, răsturnată.

În fig. 27.6, *b* vedem: imaginea obiectului AB , obținută cu ajutorul unei lentile convergente în cazul, când obiectul este situat între focar și lentilă este virtuală, mărită și dreaptă.

Astfel, dimensiunile și aspectul imaginii obținute cu ajutorul lentilei convergente, depinde de distanța dintre obiect și lentilă.

Construirea imaginilor, obținute cu ajutorul lentilei divergente arată, că lentila divergentă totdeauna dă o imagine virtuală, micșorată, dreaptă a obiectului (vezi, de exemplu, fig. 27.7).

Deseori se întâmplă, că obiectul este mai mare decât lentila sau o parte a lentilei este acoperită cu un ecran netransparent (de exemplu, lentila obiectivului fotoaparaturii). În fig. 27.8 se vede, că razele 2 și 3 nu trec prin lentilă, dar ca și mai înainte ele pot fi folosite pentru construirea imaginii. Deoarece razele reale, ce au ieșit din punctul B , după refracție în lentilă se intersectează într-un punct — B_1 , atunci «razele comode», cu ajutorul cărora se construiește imaginea, tot s-ar fi intersectat în punctul B_1 .

4 Formula lentilei subțiri. Mărirea liniară a lentilei

Să stabilim dependența matematică dintre distanța d de la obiect până la lentilă, distanța f de la imaginea obiectului până la lentilă și distanța focală F a lentilei. Pentru aceasta ne vom folosi de fig. 27.6, a.

Triunghiurile dreptunghice FOC și FA_1B_1 sunt asemenea, de aceea $\frac{OC}{A_1B_1} = \frac{FO}{FA_1}$.

Deoarece $OC=h$, $A_1B_1=H$, $FO=f$, $FA_1=f-F$, obținem:

$$\frac{h}{H} = \frac{f}{f-F}. \quad (1)$$

Triunghiurile BAO și B_1A_1O sunt asemenea, de aceea, $\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{AO}{A_1O}$, sau

$$\frac{h}{H} = \frac{d}{f}. \quad (2)$$

Comparând părțile drepte ale egalităților (1) și (2), avem: $\frac{f}{f-F} = \frac{d}{f}$; $Ff = df - dF$;

$df = Ff + dF$. Împărțind ambele părți ale ultimei egalități la df , obținem **formula lentilei subțiri**:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

Raportul dimensiunii liniare H a imaginii obiectului către dimensiunea h a însuși obiectului se numește **mărire liniară** β (Γ — lit. ucraineană) **a lentilei**:

$$\beta = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$

5 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Un fascicul convergent de raze de lumină cade pe o lentilă divergentă (vezi fig. 27.9). După refracția din lentilă razele se intersectează în punctul S_1 , așezat la distanța a de la lentilă. Dacă am îndepărta lentila, atunci punctul de intersecție al razelor se va deplasa mai aproape de locul, unde a fost amplasată lentila, la distanța b (punctul S). Determinați distanța focală a lentilei.

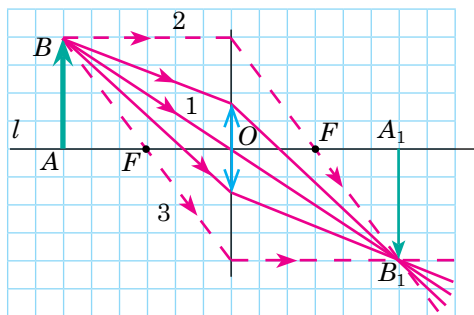


Fig. 27.8. Construirea imaginii a obiectului A_1B_1 în cazul, când obiectul AB este cu mult mai mare decât lentila

«Regulile semnelor» la aplicarea formulei lentilei subțiri:

■ Distanța f (de la imagine până la lentilă) trebuie luată cu semnul «-», dacă imaginea este virtuală, și cu semnul «+», dacă imaginea este reală.

■ Distanța focală F a lentilei convergente este pozitivă, iar a lentilei divergente — negativă.

■ Distanța d de la punctul luminos (obiect) până la lentilă trebuie de luat cu semnul «+», în afara cazurilor, când pe lentilă cade un fascicul convergent de lumină (punctul luminos este situat parcă după lentilă — vezi des), — în așa cazuri d trebuie de luat cu semnul «-».

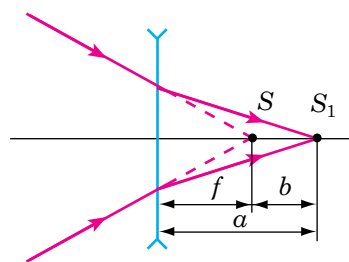
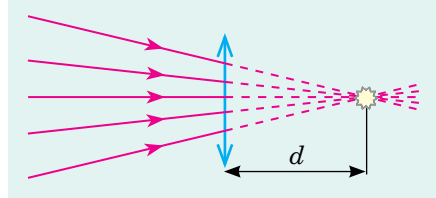


Fig. 27.9. Pentru problema din § 27

Analiza problemei fizice. Ne vom folosi de reversibilitatea razelor de lumină. Atunci punctul S_1 , în care se intersectează razele când este prezentă lentila, joacă rolul sursei de lumină, din care razele merg în fascicul divergent; iar punctul S , în care se adună razele în lipsa lentilei, joacă rolul imaginii virtuale.

Căutarea modelului matematic, rezolvarea. Ținând cont, că f trebuie de luat cu semnul «-», vom scrie formula lentilei subțiri: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$, sau $F = \frac{df}{f-d}$.

Din fig. 27.9 vedem, că $d = a$, $f = a - b$, deci, $F = \frac{a(a-b)}{(a-b)-a} = \frac{a(a-b)}{-b} = \frac{a(b-a)}{b}$.

Analiza rezultatelor. Conform condiției problemei $b < a$, de aceea expresia $(b-a)$ este negativă, așadar negativă este și distanța focală ($F < 0$), ce corespunde lentilei divergente.

Răspuns: $F = \frac{a(b-a)}{b}$.



Facem totalurile

- Corpul transparent, delimitat din ambele părți de suprafețe sferice se numește lentilă. Lentilele sunt convergente și divergente, iar după formă — convexe și concave.
- Lentila se numește convergentă, dacă razele paralele ce cad pe ea după refracție se intersectează într-un punct. Acest punct se numește focar real al lentilei.
- Lentila se numește divergentă, dacă razele paralele după ce cad pe ea după refracție ies ca un fascicul divergent. Punctul, în care se intersectează prelungirile razelor refractate, se numește focar virtual al lentilei.
- În dependență de tipul lentilei și locul amplasării obiectului se obțin diferite imagini:

Locul amplasării obiectului	Caracteristica imaginii în lentilă	
	lentilă convergentă	lentilă divergentă
După focarul dublu al lentilei: $d > 2F$	reală, micșorată, răsturnată	Virtuală, micșorată, dreaptă
În focarul dublu: $d = 2F$	Reală, egală, răsturnată	
Între focar și focarul dublu al lentilei: $F < d < 2F$	Reală, mărită, răsturnată	
În focarul lentilei: $d = F$	Imagine nu există	
Între lentilă și focar: $d < F$	Virtuală, mărită, dreaptă	

- Mărimea fizică, care caracterizează proprietățile refractare ale lentilei și este inversă la distanța ei focală se numește putere optică a lentilei: $D = \frac{1}{F}$.

- Distanța d de la obiect până la lentilă, distanța f de la imaginea obiectului până la lentilă și distanța focală F sunt legate prin formula lentilei subțiri:
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{F}$$
.



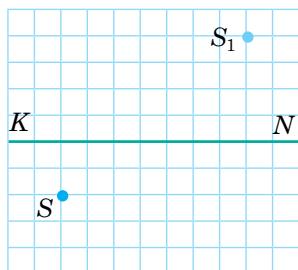
Întrebări pentru control

1. Ce este lentila? Ce tipuri de lentile cunoașteți?
2. Cu ce se deosebește lentila divergentă de cea convergentă?
3. Ce se numește focar real al lentilei?
4. De ce focarul lentilei divergente se numește virtual?
5. Caracterizați puterea optică a lentilei ca mărime fizică.
6. Care raze sunt folosite pentru construirea imaginii în lentilă?
7. Ce imagine dă lentila convergentă? lentila divergentă? De ce depinde tipul imaginii?
8. Care mărimi fizice leagă formula lentilei subțiri? Care reguli trebuie respectate, aplicând această formulă?
9. Cum se determină mărirea liniară a lentilei?

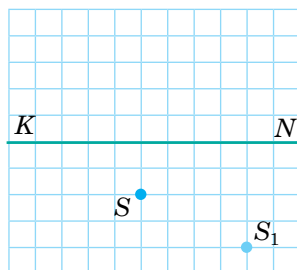


Exercițiul nr. 27

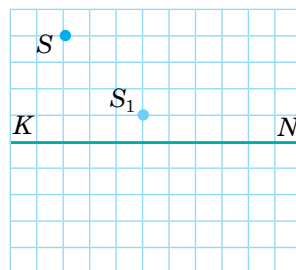
1. Pentru obținerea imaginii obiectului în mărirea lui naturală obiectul a fost situat la distanța de 25 cm de la lentilă. Determinați puterea optică a lentilei. Ce fel de lentilă este aceasta — convergentă sau divergentă?
2. Un obiect este situat la distanța de 1 m de la lentilă, iar imaginea lui virtuală — la distanța de 25 cm de la lentilă. Determinați puterea optică a lentilei. Ce fel de lentilă este aceasta — convergentă sau divergentă?
3. Pe fiecare dintre desenele $a-c$ este indicată axa optică principală KN a lentilei, punctul luminos S și imaginea lui S_1 . Pentru fiecare caz determinați cu ajutorul construcțiilor amplasarea centrului optic și focarelor lentilei, indicați tipul lentilei, aspectul imaginii.



a



b



c

4. Puterea optică a lentilei convergente este egală cu 5 dptr. La ce distanță de la lentilă trebuie de amplasat obiectul cu înălțimea de 4 cm, pentru a obține: a) imaginea reală cu înălțimea de 1 cm; b) imaginea reală cu înălțimea de 2 cm; c) imaginea virtuală cu înălțimea de 10 cm?
5. Dacă un obiect este situat la distanța de 36 cm de la o lentilă convergentă, atunci înălțimea imaginii lui este de 10 cm, iar dacă la distanța de 24 cm — atunci înălțimea imaginii lui va fi egală cu 20 cm. Determinați distanța focală a lentilei și înălțimea obiectului.



Însărcinare experimentală

Folosind o lupă, obțineți pe peretele camerei sau pe podea imaginea reală a sursei de lumină.

1. Efectuând măsurătorile necesare, determinați puterea optică și distanța focală a lupei.
2. Închizând treptat o parte a lupei cu un ecran opac, urmăriți cum se schimbă imaginea.

§ 28. SISTEME OPTICE. UNGHIUL DE VEDERE



Organul de vedere al omului este ochiul — una dintre cele mai de-săvârșite și în același timp complicate sisteme optice. Cum este făcut ochiul? De ce unii oameni văd rău și cum de corectat vederea lor? Cum de văzut obiectele suficient de mărunte și suficient de îndepărtate? Ce este unghiul de vedere, de ce el trebuie mărit și cum de făcut aceasta?

1 Cum și de ce noi vedem

Sistemul optic — o totalitate de elemente optice, destinat pentru formarea fasciculelor de raze luminoase sau pentru obținerea imaginilor.

Sunt destinate sisteme optice *naturale* (biologice) și *artificiale*.

Exemplu de sistem optic natural este *ochiul*. Ochiul omului (fig. 28.1) are forma unei sfere cu diametrul aproximativ de 2,5 cm. Din exterior este acoperită cu o membrană densă netransparentă — **sclerotică**. Partea din față a scleroticii trece în *membrana transparentă corneică* — **corneea**, care acționează ca o lentilă convergentă și asigură 75 % a capacității ochiului de a refracta lumina.

Partea interioară a scleroticii este acoperită cu o **membrană vasculară**, care din interior este acoperită cu **retină** — ramificația *nervului sensibil la lumină*. Locul, unde nervul de vedere intră în ochi, nu percepe lumina, de aceea el a fost numit *pată oarbă*.

În partea anterioară membrana vasculară trece în *membrana coroidă* — **coroida**, care este de diferite culori la diferiți oameni și are un orificiu rotund — **pupila**. Diametrul pupilei se modifică în cazul schimbării intensității luminii.

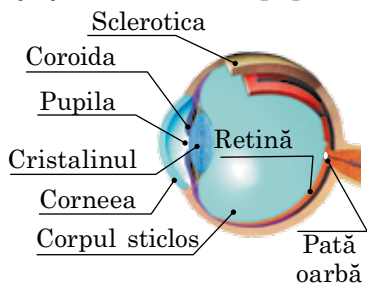


Fig. 28.1. Structura ochiului

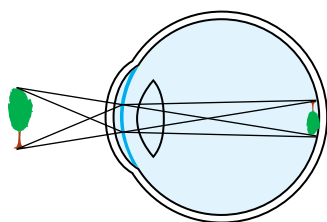


Fig. 28.2. Schema obținerii imaginii obiectului pe retina ochiului

Capacitatea ochiului de a se adapta la iluminare diferită se numește **adaptare**.

De ce pupila se îngustează în cazul amplificării iluminării și se dilată în cazul slăbirii ei?

În spatele pupilei se află **cristalinul**, care reprezintă în sine o lentilă biconvexă. Cristalinul datorită mușchilor concreșcuți cu el își poate schimba curbura sa, și deci, puterea optică.

Capacitatea cristalinului de ași schimba curbura sa în cazul schimbării distanței până la obiectul cercetat se numește **acomodare**.

La formarea imaginii participă și **corpul sticlos** — o masă gelatinoasă transparentă, ce umple spațiul dintre cristalin și retină. Lumina, care nimereste pe suprafața ochiului, se refractă pe corneea, cristalin și corpul sticlos. În rezultat pe retină se *formează imaginea reală, răsturnată, micșorată* a obiectului (fig. 28.2).

Dacă omul se uită la obiecte foarte îndepărtate, în ochiul lui nimeresc raze paralele. În acest caz ochiul este cel mai relaxat. Cu cât mai aproape este așezat obiectul, cu atât mai mult se încordează ochiul.

Distanța minimă, la care ochiul vede obiectul practic fără încordare se numește **distanța vizibilității optime**.

Pentru un om cu vederea normală distanța vizibilității optime constituie aproximativ 25 cm ($d_0 = 25$ cm). La un astfel de om focarul sistemului optic al ochiului în stare neîncordată este așezat pe retină, adică razele paralele, care nimeresc în ochi după refractare converg pe retină (fig. 28.3, a). Puterea optică a unui ochi normal constituie aproximativ 58,5 dptr, ceea ce corespunde distanței focale de 1,71 cm.

În cazul **miopiei** focarul sistemului optic al ochiului în stare neîncordată este situat înaintea retinei (fig. 28.3, b), de aceea imaginile obiectelor pe retină sunt difuze. Distanța vizibilității optime în acest caz este mai mică de 25 cm, de aceea omul miop, pentru a cerceta obiectul îl apropie de ochi. *Miopia se corectează prin purtarea ochelarilor cu lentile divergente sau a lentilelor de contact divergente.*

În cazul **prezbiției** focarul sistemului optic al ochiului în stare neîncordată este situat după retină (fig. 28.3, c) și imaginile obiectelor pe retină sunt de asemenea difuze. Distanța vizibilității optime în acest caz este mai mare de 25 cm, de aceea omul, cercetând obiectul îl îndepărtează de ochi. *Prezbiția se corectează prin purtarea ochelarilor cu lentile convergente sau a lentilelor de contact convergente.*

2 Ce este unghiul de vedere și cum de-l mărit

Dimensiunea imaginii H a obiectului pe retină este determinată de **unghiul de vedere** φ — de unghiul cu vârful în centrul optic al ochiului, format de razele ce sunt orientate la punctele extreme ale obiectului (fig. 28.4):

$$\varphi = \frac{h}{d} = \frac{H}{F}$$

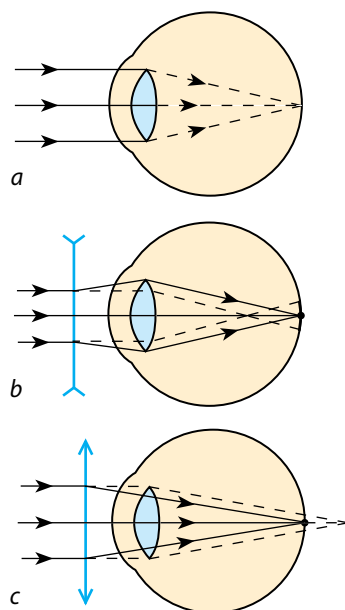


Fig. 28.3. Imaginea obiectelor îndepărtate pe retina ochiului: a — pentru omul cu vedere normală; b — în cazul miopiei; c — în cazul prezbiției. Cu linii punctate este arătat mersul razelor prin ochi în lipsa ochelarilor, cu linii continue — în prezența ochelarilor (lentilelor de contact)

■ Omul miop, cercetând obiectul îl apropie de ochi, mărind astfel unghiul de vedere, de aceea el poate deosebi detalii mărunte chiar mai bine decât omul cu vedere normală.

■ Omului prezbit îi este dificil să distingă piesele mărunte ale obiectului, deoarece el trebuie să-l depărteze de la ochi, dar aceasta cauzează micșorarea unghiului de vedere.

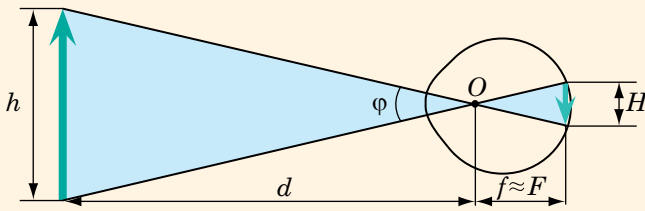


Fig. 28.4. Schema obținerii imaginii obiectului pe retina ochiului: O – centrul optic al sistemului optic al ochiului; d – distanța de la obiect până la ochi; f – distanța de la centrul optic până la imagine; F – distanța focală; φ – unghiul de vedere

Atrageți atenția!

Unghiul de vedere obișnuit, sub care omul vede obiectul este destul de mic ($\varphi < 0,1$ rad). Pentru astfel de unghiuri, după cum se știe din matematică:

$\varphi \approx \sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$. Anume din această cauză noi determinăm unghiul de vedere ca raportul dintre catete.

Odată cu mărirea unghiului de vedere dimensiunea imaginii de pe retină se mărește, de aceea se mărește cantitatea de celule sensibile la lumină ale retinei, implicate în crearea imaginii, deci corespunzător și volumul informației vizuale.

Un rol important în obținerea informației vizuale despre obiect îl joacă de asemenea **puterea de separare a ochiului**. Două puncte ale imaginii se percep aparte, dacă nimeresc pe două celule sensibile la lumină diferite ale ochiului. Puterea de separare a ochiului este determinată de unghiul de vedere minim φ_{\min} , la care două puncte se mai văd separate. Unghiul de vedere minim mediu constituie aproape 1 minută unghiulară ($\varphi_{\min} \approx 1'$) — aceasta-i un unghi foarte mic (de exemplu, sub așa un unghi un segment cu lungimea de 1 cm se privește la distanța de 34 m de la ochi). Odată cu micșorarea iluminării puterea separatoare a ochiului se micșorează. Pentru a cerceta mai bine obiectul trebuie de mărit unghiul de vedere. Aceasta se realizează cu ajutorul *aparaturilor optice*.

După destinație aparatele optice pot fi împărțite în două grupe: 1) *aparate pentru examinarea unor obiecte foarte mărunte*, care parcă măresc obiectul privit (lupa, microscopul); 2) *aparate pentru examinarea obiectelor îndepărtate*, care parcă apropie obiectul (luneta, binoclul, telescopul).

Cel mai simplu aparat de mărire este **lupa (sticlă de mărire)** — *lentilă biconvexă cu distanța focală scurtă, confecționată din sticlă sau plastic*.

Fie că un obiect mic AB cu înălțimea h este situat la distanța vizibilității optime de la ochi (d_0) (fig. 28.5, *a*). Obiectul se vede sub unghiul φ_0 . Pentru a mări unghiul de vedere se poate apropia obiectul de ochi, deplasându-l în poziția $A'B'$, dar în acest caz obiectul se va afla prea aproape de ochi. Dar se poate utiliza lupa.

Să amplasăm obiectul în apropierea focarului lupei și să-l privim prin lupa, pe care

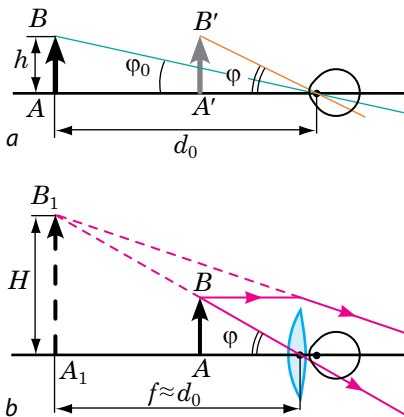


Fig. 28.5. *a* – privirea obiectului cu ochiul liber; *b* – mărirea unghiului de vedere cu ajutorul lupei. h – înălțimea obiectului; H – înălțimea imaginii; f – distanța de la imagine până la lentilă; φ_0 și φ – unghiurile de vedere inițial și mărit corespunzătoare

vom amplasa-o cât mai aproape de ochi (fig. 28.5, b). Dacă în timpul examinării obiectului prin lupă imaginea lui virtuală A_1B_1 se va afla la distanța vizibilității optime ($f = d_0$), atunci ochiul va fi neîncordat, iar unghiul de vedere — mărit.

Cu cât este mai mică distanța focală a lunei, cu atât ea dă o mărire unghiulară mai considerabilă. În practică nu sunt utilizate lupe cu distanța focală mai mică decât 2 cm, deoarece lentilele cu astfel de distanțe focale introduc deformații serioase în obținerea imaginilor. Cele mai bune lupe măresc unghiul de vedere de 5–10 ori.

Pentru numeroase cercetări științifice și tehnice chiar mărirea obiectului de zeci de ori este insuficientă. În astfel de cazuri se folosesc **microscopul optice**, care reprezintă prin sine combinația a două sisteme cu distanțe focale scurte — a *obiectivului* și a *ocularului*, amplasate într-un tub la o anumită distanță unul de altul. Microscopul optice pot mări unghiul de vedere de 1000 de ori. Aceasta este valoarea limită, care nu poate fi mai mare din pricina proprietăților ondulatorii ale luminii.



Facem totalurile

- Sistemul optic — o totalitate de elemente optice, destinat pentru formarea fasciculelor de raze luminoase sau pentru obținerea imaginilor.

- Exemplu de sistem optic natural este ochiul: nimerind în ochi, lumina se refractă și în rezultat pe retină — suprafața sensibilă la lumină a fundului ochiului — se formează imaginea micșorată, reală, răsturnată a obiectului.

- Volumul de informație vizibilă despre un obiect, obținută de către ochi se determină prin unghiul de vedere. Unghiul de vedere — aceasta-i unghiul cu vârful în centrul optic al ochiului, format de razele ce sunt orientate la punctele extreme ale obiectului: $\varphi = \frac{h}{d}$.

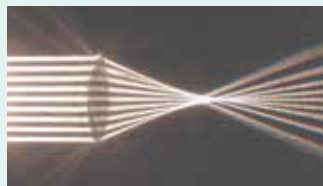
- Puterea de separare a ochiului este determinată de unghiul de vedere minim, la care două puncte ale imaginii se văd separate.

- Pentru mărirea unghiului de vedere se folosesc diferite sisteme optice artificiale.

Neajunsurile imaginilor obținute în sistemele optice

Imaginile, care sunt obținute cu ajutorul sistemelor optice artificiale au o serie de neajunsuri, cele mai esențiale din ele sunt următoarele.

- *Aberația sferică*, pricina căreia constă în aceea că razele emergente dintr-un punct al obiectului, după refracția prin sistemul optic nu se întâlnesc într-un punct și de aceea imaginea «spălăcește».



- *Aberația cromatică*, care apare de aceea că în timpul trecerii prin lentilă undele cu diverse frecvențe, care intră în componența luminii, se refractă în mod diferit, în urma cărui fapt imaginea punctului din lentilă are aspectul unei pete colorate.

- *Astigmatismul* — perturbarea asemănării dintre obiect și imaginea lui: imaginile obiectelor îndepărtate de axa optică principală a lentilei sunt deformate.

Approape toate defectele sistemelor optice pot fi înlăturate, utilizând lentile suplimentare, însă înlăturarea tuturor neajunsurilor este imposibilă. De aceea în dependență de menirea aparatului este înlăturat defectul cel mai dăunător.



Întrebări pentru control

1. Descrieți structura ochiului uman și destinația elementelor optice aparte ale lui. 2. Cum se modifică diametrul pupilei în cazul micșorării iluminării? 3. De ce omul cu vedere normală poate la fel de clar vedea atât obiectele așezate aproape cât și cele îndepărtate? 4. Care defect al vederii se numește miopie? prezbiție? Cum pot fi înlăturate aceste defecte? 5. Ce este unghiul de vedere și pentru ce el este mărit? 6. Care aparate se utilizează pentru mărirea unghiului de vedere?



Exercițiul nr. 28

1. Ce defect de vedere are omul, dacă puterea optică a ochiului lui este mai mică, decât puterea optică a ochiului omului cu vedere normală?
2. Omul în timpul citirii ține cartea la distanța de 15 cm de la ochi. De ce fel de ochelari el are nevoie?
3. Ore poate orice lentilă convergentă să servească drept lupă? Argumentați-vă răspunsul.
4. Un balon cu diametrul de 1,8 cm este situat la distanța de 2 m de la observatorul, care are vedere normală. Care este dimensiunea imaginii balonului pe retină? Sub ce unghi de vedere se vede balonul?
5. Ce defect de vedere are omul, dacă privind un obiect la distanța vizibilității optime el folosește lentile cu puterea optică de +2 dptr? La ce distanță acest om vede bine obiectul cu ochiul liber?
6. La ora actuală scăderea acuității vizuale este una dintre cele mai răspândite boli. Aflați, care factori influențează în mod negativ asupra vederii, care reguli trebuie respectate pentru a păstra vederea.
7. Pentru cercetarea obiectelor îndepărtate (planetelor, stelelor, asteroizilor) sunt aplicate telescoapele, care pot fi de două tipuri principale: telescoape-refletoare și telescoape-refractoare. Aflați, prin ce ele se deosebesc și ce priorități are fiecare tip de telescop.

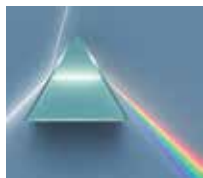


Fizica în cifre

Ce semnifică cifrele, care de obicei sunt marcate pe rama ochelarilor*



* Toate dimensiunile sunt indicate în milimetri.



Încă în vechime s-a observat, că raza de lumină solară, trecând prin prismă devine divergentă și colorată, iar dacă după prismă se pune un ecran, atunci pe el va apărea o fâșie colorată. Se considera, că pricina apariției fâșiei se ascunde în proprietatea prisme să coloreze lumina albă. Dacă aceasta este adevărat a clarificat în a. 1655 I. Newton, efectuând o serie de experimente interesante.

1 Experiențele lui Newton referitoare la descompunerea luminii albe în spectru

Sursă de lumină în experiențele lui Newton servea o deschizătură mică într-o ferestruică iluminată de soare. Atunci când înaintea deschizăturii era așezată prismă, pe peretele opus în loc de o pată rotundă luminoasă apărea o fâșie colorată, pe care Newton a numit-o **spectru**. Pe fâșie, ca și la curcubeu se evidențiau *șapte culori*: roșie, portocalie, galbenă, verde, albastră, indigo, violetă (fig. 29.1). Când în calea fasciculelor de culori diferite, care au ieșit din prismă, Newton a mai așezat o prismă pe perete apărea o pată luminoasă incoloră.

Cu ajutorul deschizăturii savantul de asemenea separa din fasciculul lat de raze de culori diferite fascicule înguste monocromatice (de o culoare) de lumină și le orienta pe o altă prismă. Fasciculele erau abătute de prismă, însă deja nu erau descompuse în spectru (fig. 29.2).

Rezultatele acestor experiențe i-au permis lui Newton să facă următoarele concluzii: 1) *prisma nu colorează lumina albă, dar o descompune într-un spectru*; 2) *fasciculul de lumină albă este compus din multe fascicule multicolore*; 3) *indicele de refracție al mediului pentru razele de culori diferite este diferit*.

2 Ce este dispersia luminii

În conformitate cu teoria ondulatorie a luminii **culoarea luminii este determinată de frecvența undei electromagnetice, care este lumina**. Cea mai mică frecvență o are lumina roșie, cea mai mare — cea violetă (vezi tabelul). Analizând experiențele lui Newton și sprijinindu-ne pe teoria ondulatorie a luminii,

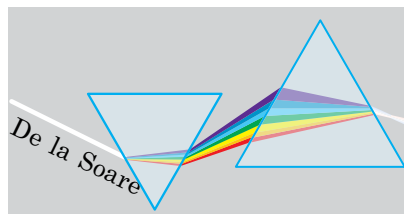


Fig. 29.1. Descompunerea luminii albe în spectru în timpul trecerii ei printr-o prismă. Cel mai mult se refractă razele violete, cel mai puțin – cele roșii

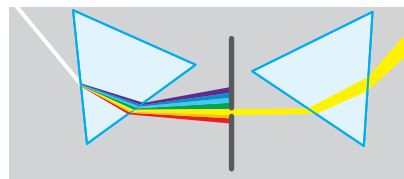


Fig. 29.2. Raza monocromatică, separată din spectru, la trecerea prin prismă deviază, dar nu se descompune în spectru

Culorile spectrului și caracteristicile lor

Culoarea luminii	Frecvența luminii, THz (10^{12} Hz)	Lungimea de undă în vid, nm (10^{-9} m)
Roșie	480–400	625–740
Portocalie	510–480	590–625
Galbenă	530–510	565–590
Verde	600–530	500–565
Albastră	620–600	485–500
Indigo	680–620	440–485
Violetă	790–680	380–440

De ce cerul e de culoare albastră

Mulți învățați și-au pus întrebarea, de ce cerul este albastru. Cel mai bun răspuns la această întrebare a fost dat în anul 1899 de către fizicianul englez *John Rayleigh* (1842–1919).



Soarele emite lumină albă. O parte din fotonii, care nimeresc de la Soare în atmosfera Pământului, trec printre moleculele gazului, fără a-și schimba direcția sa, iar o parte sunt difuzați de fluctuațiile (neomogenitățile) aerului. Cel mai bine este difuzată lumina cu lungimea de undă scurtă (legea lui Rayleigh).

Lumina albă naturală conține unde din întreg spectrul vizibil, a cărui porțiune de lungimi de undă scurte corespunde culorilor indigo-albastru, iar cea de lungimi de undă lungi – galben-roșu. Deci, atmosfera mai bine împrăștie porțiunea indigo-albastră a spectrului, și lasă să treacă – cea galbenă-roșie. Anume din această cauză cerul este albastru (atmosfera împrăștie această porțiune a spectrului), iar Soarele la asfințit are culoarea roșu-galbenă (atmosfera lasă să treacă lumina din această porțiune a spectrului).

ajungem la concluzia: *indicele de refracție al luminii depinde de frecvența undei de lumină*. Pentru majoritatea mediilor indicele absolut de refracție crește o dată cu mărirea frecvenței luminii.

Fenomenul descompunerii luminii în spectru, condiționată de dependența indicelui absolut de refracție al mediului de frecvența undei de lumină, se numește **dispersia luminii**.

Atrageți atenția: la trecerea dintr-un mediu în altul, viteza v de propagare a luminii se schimbă, însă frecvența ν a undei luminoase, deci și culoarea luminii rămân neschimbate. De aceea conform formulei undei ($v = \lambda \nu$) se schimbă lungimea de undă λ a undei luminoase. La trecerea într-un mediu cu densitate optică mai mare lungimea undei, ca și viteza ei se micșorează:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

❓ Care este lungimea undei luminoase de culoare verde în sticlă, indicele de refracție al căreia este egal cu 1,5?

3 Pentru ce trebuie aparatele spectrale și cum ele sunt construite

Lumina emisă de orice sursă, de regulă, are o structură complicată. Totalitatea de frecvențe ale undelor luminoase, care se conțin în radiația oricărei substanțe, se numește *spectru de emisie al acestei substanțe*. Pentru orice substanță ce se află în stare gazoasă atomară spectrul de emisie este o caracteristică unică — el nu coincide cu spectrul de emisie a nici unei altei substanțe. Anume pe această unicitate se bazează **analiza spectrală** — *metoda determinării compoziției chimice a substanței după spectrul ei*.

Compoziția spectrală a luminii este determinată cu ajutorul *aparatelor speciale*. Să cercetăm construcția unuia din ele, principul funcționării căruia se bazează pe dispersia luminii (fig. 29.3). Un astfel de aparat este compus din trei părți principale: colimator, prismă, lentila.

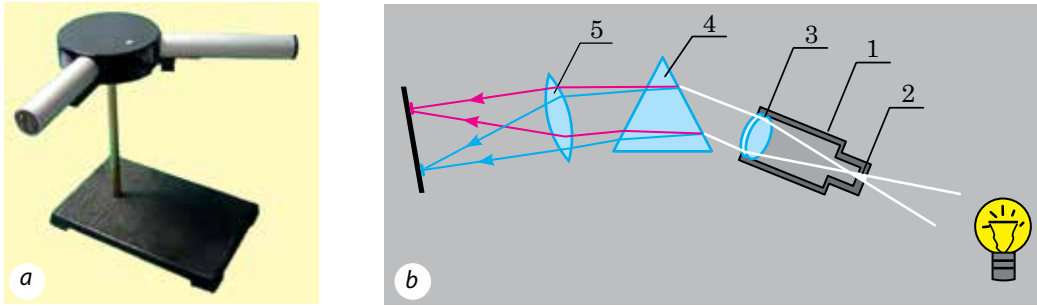


Fig. 29.3. Aparat spectral de dispersie: *a* – aspect exterior; *b* – construcția și principiul de lucru

Colimatorul (1) prezintă în sine un tub îngust la un capăt al căruia este așezat un *paravan cu fanta* (2); fanta se află în planul focal al *lentilei convergente* (3). Fasciculul paralel îngust de lumină de la colimator este direcționat pe *prisma* (4). Deoarece fiecărei frecvențe de lumină (fiecărei culori) îi corespunde un indice de refracție propriu, atunci după refracție din prismă ies fasciculele paralele monocromatice, fiecare dintre care deviază cu al său unghi. Aceste fascicule nimeresc pe o altă *lentilă convergentă* (5) și sunt focalizate în planul ei focal.

? De ce razele după refracție în lentila (3) devin paralele? De ce lentila (5) adună în punctul dat al planului focal razele numai de o singură culoare?

Dacă în planul focal al lentilei (5) se va amplasa o placă fotografică, un ecran, etc., un astfel de aparat se numește **spectrograf**; dacă în loc de lentila (4) și ecran se utilizează o lunetă, atunci avem de afacere cu **spectroscopul** (de la latin. *spectrum* — imaginație, viziune, grec. *graphō* — scriu, descriu, grec. *skopeō* — observ).

Bineînțeles, că aparatele spectrale actuale sunt mult mai complicate: substanța cercetată este supusă iradierii, sunt aplicate sisteme optice mai sofisticate, pentru studiere se utilizează ecrane incorporate cu matrice CCD și diferiți senzori; datele pot fi transmise printr-o rețea de comunicații și prelucrate la calculator.

4 De ce lumea înconjurătoare este de culori diferite

Culoarea unui oarecare corp, pe care noi îl observăm este determinată de frecvența undelor care nimeresc în ochi după *interacțiunea luminii cu materialul*, din care este compus corpul, și anume după *absorbirea și împrăștierea luminii*.

Difuzia luminii — acesta-i fenomenul transformării luminii de către mediul material, care este însoțită de schimbarea direcției de propagare a luminii și se manifestă ca luminescența improprie a mediului

Absorbția luminii — micșorarea intensității luminii, care trece printr-un mediu material.

Culoarea corpului este determinată de proprietatea lui de a reflecta (împrăștia) undele luminoase de o oarecare frecvență (lungime de undă) sau alta. Dacă corpul este iluminat cu lumină albă și reflectă toate undele luminoase

incidente, atunci el nu va părea alb; dacă corpul reflectă cu preponderență undele de culoare indigo, iar pe altele le absoarbe, atunci el este de culoare indigo. Dacă corpul aproape complet absoarbe lumina incidentă, atunci corpul ne va părea negru. Pe lângă aceasta, *culoarea corpului depinde de caracteristicile undeii luminoase, care îl iluminează*. De exemplu, dacă corpul, care are proprietatea de a reflecta cu preponderență lumina indigo, va fi iluminat cu lumină roșie monocromatică, atunci corpul practic nu va reflecta lumina și va face impresia de corp negru. Astfel, culoarea corpului depinde de asemenea de compoziția luminii incidente, și deci, *noțiunea de culoare la întuneric nu are nici un sens*.



Facem totalurile

- Dispersia luminii — fenomenul descompunerii luminii în spectru, condiționată de dependența indicelui absolut de refracție al mediului (deci și a vitezei de propagare a luminii în acest mediu) de frecvența undeii luminoase. Pentru majoritatea mediilor indicele de refracție crește o dată cu creșterea frecvenței undeii luminoase.
 - Compoziția spectrală a luminii se cercetează cu ajutorul aparatelor spectrale — spectroscopelor și spectrografelor.
 - Culoarea undeii luminoase este determinată de lungimea de undă. Lumina albă solară conține întregul spectru al lungimilor de undă ale radiației electromagnetice din domeniul vizibil.
 - Toată diversitatea culorilor, pe care o au corpurile din jurul nostru, este condiționată de capacitatea acestor corpuri de a reflecta undele unei porțiuni anumite ale spectrului optic.



Întrebări pentru control

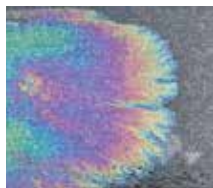
1. Descrieți experiențele lui I. Newton referitoare la studierea dispersiei luminii.
2. Numiți șapte culori spectrale.
3. Lumina de care culoare cel mai puțin se refractă în substanță? cel mai mult se refractă în substanță?
4. Dați definiția dispersiei.
5. Care caracteristici ale undeii luminoase se schimbă în timpul trecerii dintr-un mediu în altul?
6. Descrieți construcția și principiul funcționării al aparatului spectral.
7. De ce noi vedem lumea înconjurătoare colorată?



Exercițiul nr. 29

1. Cum o să vedeți voi foaia albă de hârtie, dacă ea va fi iluminată cu lumina roșie? Se va schimba oare răspunsul, dacă se va lua o foaie colorată de hârtie?
2. Ce înseamnă fraza «Mingea este roșie»?
3. Care este indicele de refracție al mediului pentru lumina de culoare violetă, dacă lungimea de undă luminoasă în mediul dat este egală cu 250 nm, iar în vid — cu 400 nm? Care este viteza de propagare a acestei lumini în mediul dat?
4. Oare pot avea undele luminoase de diferite culori aceeași lungime? aceeași frecvență? Dacă pot, atunci în ce condiții?
5. Pentru lumina unei anumite culori lungimea de undă în benzină este egală cu 450 nm. Care este culoarea acestei lumini?
6. Dacă se vor amesteca vopsele galbenă și indigo, se obține verde. Dacă se vor suprapune una peste alta plăcile transparente galbenă și indigo și se va privi prin ele la lumină, plăcile vor părea negre. Cum se poate explica aceasta?
7. Amintiți-vă sau aflați, care culori se numesc principale. Care sunt proprietățile lor? Unde sunt aplicate aceste proprietăți?

§ 30. INTERFERENȚA LUMINII



De ce bulele de săpun sunt colorate în culorile curcubeului? De ce este colorată în diferite culori pelicula de ulei de pe suprafața apei și de ce o astfel de colorare dă doar o peliculă foarte subțire? Este imposibil să explicăm aceasta prin dispersie. Nu a putut explica acest lucru și I. Newton, deși primul a aplicat acest fenomen în practică, șlefuiind lentilele cu mult mai bine decât cei mai faimoși meșteri ale timpului său. Deci, să aflăm despre ce fenomen este vorba și care este cauza lui.

1 Interferența undelor luminoase

Lumina — aceasta-i o undă electromagnetică, dar pentru orice unde are loc *principiul superpoziției*: dacă într-un punct oarecare al spațiului ajung unde de la câteva surse, atunci aceste unde se suprapun una pe alta. În urma unei astfel de suprapuneri în unele puncte ale spațiului poate avea loc amplificarea oscilațiilor, iar în altele — atenuarea, adică se observă *fenomenul interferenței*.

Interferența — fenomenul suprapunerii undelor, în urma căruia în anumite puncte ale spațiului se observă amplificarea (sau atenuarea), stabile în timp ale oscilațiilor rezultante.

Să clarificăm ce înseamnă acest fenomen pentru lumină. În procesul propagării unei luminoase în fiecare punct al spațiului, unde se propagă unda, are loc schimbarea periodică a vectorilor intensității și inducției magnetice ale câmpului electromagnetic.

Dacă printr-un punct oarecare al spațiului se propagă două unde luminoase, atunci intensitățile câmpurilor ca vectori (asemănător se adună vectorii inducției magnetice). Intensitatea rezultantă va caracteriza energia luminoasă, ce ajunge în punctul dat: cu cât este mai mare intensitatea, cu atât este mai mare energia, ce ajunge în punctul dat.

În cazul, când direcțiile intensităților câmpurilor a două unde luminoase, care ajung în punctul dat coincid, intensitatea rezultantă se mărește și în punct se observă mărirea maximă a iluminării. Și invers, când intensitățile câmpurilor sunt orientate opus, intensitatea rezultantă se micșorează («lumina va fi stinsă de lumină»).

Atrageți atenția: *în timpul interferenței energia nu dispare — are loc redistribuirea ei în spațiu.*

Atrageți atenția!

Pentru ca în anumite puncte ale spațiului permanent să poată avea loc amplificarea sau atenuarea oscilațiilor rezultante, este necesară îndeplinirea a două condiții, care se numesc **condițiile coerenței undelor**:
1) undele trebuie să aibă aceeași frecvență (corespunzător și lungime);
2) diferența fazelor inițiale $\Delta\varphi$ a undelor trebuie să fie constantă (undele, care se suprapun trebuie să aibă un defazaj constant în timp).

Undele, care corespund condițiilor de coerență se numesc **unde coerente**.

Surse ideale de unde luminoase coerente sunt **laserii** — *generatoarele cuantice optice*.

1. Fasciculul luminos, care este emis de laser, are o frecvență (lungime de undă) constantă, adică este *monocromatic* (de la grec. *monos* — una, *chroma* — culoare).

2. Toate oscilațiile electromagnetice ale fasciculului luminos laser sunt sinfazice (defazajul este constant și este egal cu zero).

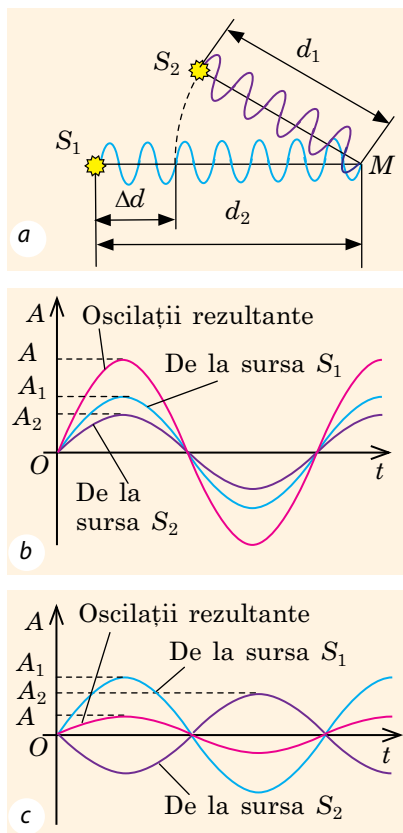


Fig. 30.1. Dacă undele au ajuns în punctul M (a) în aceeași fază, amplitudinea oscilațiilor rezultante se mărește: $A = A_1 + A_2$ (b), iar dacă undele au ajuns în faze opuse, amplitudinea oscilațiilor rezultante se micșorează: $A = A_1 - A_2$ (c)

Atrageți atenția!

Rezolvând problemele, trebuie de luat în considerație, că lungimea λ unei luminoase în interiorul mediului este mai mică decât λ_0 lungimea unei luminoase în vid de n ori:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n},$$

unde n — indicele absolut de refracție al mediului.

2 Condițiile maximului și minimului de interferență

Vom examina două unde luminoase coerente, care ies de la sursele S_1 și S_2 în aceleași faze, se propagă într-un mediu omogen și ajung în punctul M , situat la distanța d_1 de la sursa S_1 și la distanța d_2 de la sursa S_2 (fig. 30.1, a). Distanța $\Delta d = d_2 - d_1$ se numește **diferență geometrică de drum a undelor**.

Când undele ajung în punctul M tot timpul se observă **oscilații cu amplitudine mărită** — **maximul de interferență** (fig. 30.1, b). Aceasta are loc cu condiția, că pe segmentul Δd se suprapune orice număr întreg de lungimi de undă (un număr par de semiunde).

Condiția maximului de interferență: în punctul dat al spațiului are loc amplificarea oscilațiilor luminoase rezultante, dacă diferența de drum a două unde luminoase, ce ajung în acest punct este egală cu un număr întreg de lungimi de undă (un număr par de semiunde):

$$\Delta d = k\lambda = 2k \frac{\lambda}{2},$$

unde λ — lungimea de undă; k — număr întreg.

Când undele ajung în punctul M în faze opuse, atunci aceste unde *se sting una pe alta* (fig. 30.1, c) — în punctul M se observă **minimul de interferență**. Aceasta are loc cu condiția, că pe segmentul Δd se suprapune orice număr impar de semiunde.

Condiția minimului de interferență: în punctul dat al spațiului are loc atenuarea oscilațiilor luminoase rezultante, dacă diferența de drum a două unde luminoase, ce ajung în acest punct este egală cu un număr impar de semiunde:

$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

unde λ — lungimea de undă; k — număr întreg.

3 Cum de observat interferența luminii

Dacă într-o cameră introducem o sursă de lumină suplimentară, atunci iluminarea se amplifică în orice punct al camerei (nu se observă interferența). De ce e așa? Chestia constă în aceea, că este imposibil de observat imaginea de interferență a două surse de lumină independente (cu excepția laserilor). Pricina constă în aceea că atomii emit lumina prin impulsuri scurte, cu durata de ordinul 10^{-8} s. Fazele undelor, emise de unii atomi separați variază haotic. Deci, imaginea de interferență a două surse independente de lumină variază fiecare 10^{-8} s. Datorită inerției văzului omul nu poate observa variațiile imaginii de interferență atât de rapide (perceperile vizuale se păstrează pe retină în decursul a 0,1 s).

Pentru a obține surse de lumină coerente unul dintre fondatorii opticii ondulatorii *Thomas Young* a folosit două fante înguste (S_1 și S_2), care erau situate la distanța de 1 mm una de alta și pe care nimerea lumina de la o sursă (fig. 30.2). Drept sursă servea o altă fantă — S . Conform principiului lui Huygens fiecare fantă (S_1 și S_2) după nimerirea luminii devenea sursă de unde secundare. Aceste unde erau coerente, deoarece în realitate veneau de la o sursă (S) și aveau o anumită diferență de drum Δd (mergeau spre ecranul, situat la distanța de 3 m, pe drumuri diferite). Dacă diferența de drum Δd pentru un oarecare punct al ecranului era egală cu un număr par de semiunde, atunci în acest punct se observa maximul de interferență, dacă un număr impar — atunci minimul de iluminare. Adică Young observa pe ecran imaginea de interferență: alternarea franjelor luminoase și întunecate în cazul luminii monocromatice și alternarea franjelor colorate în cazul luminii albe.

? Dar de ce fasciculele de lumină, ce veneau de la fante se lărgeau (vezi fig. 30.2)? (Amintiți-vă difracția undelor mecanice.)

4 Interferența pe pelicule subțiri

Cu manifestările interferenței luminii noi ne întâlnim, observând iluminarea unei pelicule transparente subțiri (fig. 30.3). Unda

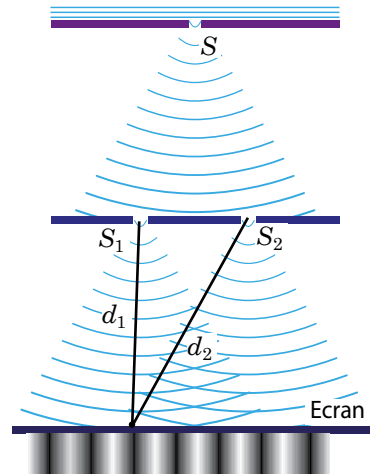


Fig. 30.2. Experiența clasică a lui Young — divizarea fasciculului de lumină în două fascicule coerente: fanta S — sursă de lumină; fantele S_1 și S_2 — surse secundare de lumină. În experiența reală distanța dintre fantele S_1 și S_2 este cu mult mai mică, decât distanța de la aceste fante până la ecran

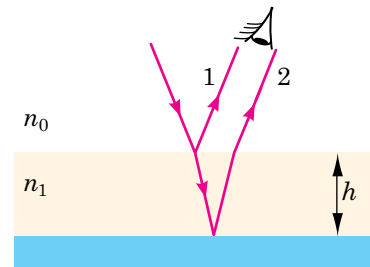


Fig. 30.3. Divizarea fasciculului de lumină în două fascicule coerente pe o peliculă subțiri: n_0 — indicele de refracție al aerului; n_1 — indicele de refracție al peliculei; h — grosimea peliculei

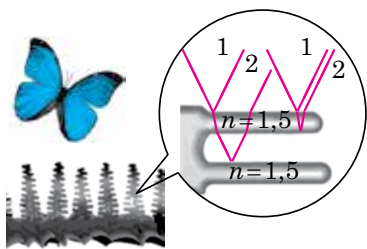


Fig. 30.4. Divizarea fascicului de lumină în două fascicule coerente pe aripile unui fluture

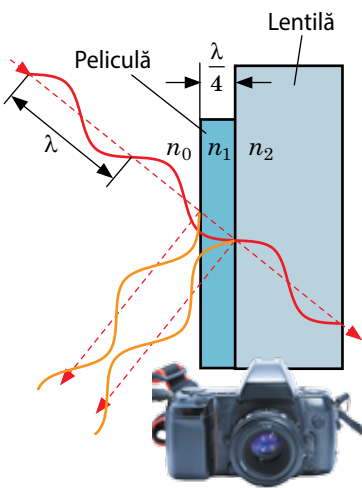


Fig. 30.5. Aplicarea unui strat antireflectant. Grosimea peliculei se alege astfel, încât pentru o incidență perpendiculară a luminii stingerea completă să aibă loc pentru undele din porțiunea medie a spectrului, la care ochiul omului este cel mai sensibil. Anume din această cauză stratul antireflectant de obicei are culoare liliacee, doar cel mai mult se reflectă undele din porțiunea roșie și violetă ale spectrului

luminoasă se reflectă parțial de la suprafața exterioară a peliculei (unda 1), parțial trece prin peliculă și reflectându-se de la suprafața ei interioară se întoarce în aer (unda 2). Deoarece unda 2 parcurge o distanță mai mare decât unda 1 între ele există o diferență de drum.

Ambele unde sunt coerente, deoarece sunt create de o singură sursă, de aceea în urma suprapunerii lor se observă o imagine interferențială stabilă. Dacă unda 2 rămâne în urma undei 1 de un număr par de semiunde, atunci are loc amplificarea luminii (maximul de interferență), dacă de un număr impar de semiunde — atenuarea luminii (minimul de interferență). Anume de interferența luminii este condiționată colorarea multor insecte (fig. 30.4).

Lumina albă este policromatică (ea este compusă din unde cu lungimi diferite), de aceea pentru *amplificarea radiației luminoase de diferite culori este necesară grosime diferită a peliculei*: dacă pelicula de grosime diferită este iluminată cu lumină albă, atunci ea va deveni colorată în culorile curcubeului (peliculele de săpun colorate, pelicula colorată de ulei pe suprafața apei). Afară de aceasta, diferența de drum a undelor depinde de unghiul de incidență al luminii pe peliculă (o dată cu mărirea unghiului de incidență diferența de drum se mărește), de aceea peliculele subțiri trec dintr-o culoare în alta — își schimbă culoarea, când se schimbă unghiul sub care noi privim pelicula.

Atrageți atenția: dacă grosimea peliculei este de câteva ori mai mare decât lungimea undei luminoase, atunci franjele de interferență sunt situate prea aproape și ochiul nu este capabil să le distingă — franjele coincid și noi vedem lumina albă.

5 Aplicarea interferenței

Interferența pe pelicule subțiri este aplicată pentru *aplicarea unui strat antireflectant*. Această metodă a fost descoperită de către fizicianul ucrainean *Alexandr Teodorovici Smacula* (1900–1983) în a. 1935.

În sistemele optice, care conțin câteva lentile, în urma reflexiei se poate pierde până la 40% din energia luminii. Pentru a micșora pierderile, pe suprafața lentilelor se depune o peliculă subțire, indicele de refracție al căreia

este mai mic decât indicele de refracție al materialului, din care sunt confecționate lentilele (fig. 30.5). Grosimea peliculei h se alege astfel ca diferența de drum Δd a razelor, reflectate de la suprafețele exterioară și interioară ale peliculei să fie egală cu o semiundă:

$$\Delta d = 2h = \frac{\lambda}{2},$$

unde λ — lungimea undei în peliculă.

În acest caz în lumina reflectată se realizează condiția de minim (razele reflectate se vor stingea) și prin lentilă va trece mai multă lumină.

Cu ajutorul interferenței luminii este apreciată *calitatea șlefuirii suprafeței a unui fabricat* (fig. 30.6). Pentru aceasta este creată o pană de aer între suprafața fabricatului (1) și o placă etalon (2) foarte netedă (fig. 30.6, a). În cazul iluminării plăcilor cu lumină monocromatică pe pana subțire de aer dintre fabricat și placă se formează imaginea de interferență sub formă de franje luminoase și întunecate. Calitatea șlefuirii este determinată după forma franjelor: prezența unei asperități chiar și de ordinul 10^{-8} m m duce la curbarea franjelor interferențiale (fig. 30.6, c).

Pentru prima dată această metodă a fost aplicată de către I. Newton. Utilizând o lentilă etalon mică el a obținut șlefuirea aproape ideală a lentilelor și oglinzilor mari. Rolul peliculei îl îndeplinea pana de aer dintre suprafața șlefuită și lentila etalon (fig. 30.7, a). Imaginea interferențială, care apărea avea forma unor inele concentrice colorate, ce au obținut denumirea de *inelele lui Newton* (fig. 30.7, b). Dacă lentila este iluminată cu lumină monocromatică, atunci imaginea interferențială va avea aspectul unor inele concentrice luminoase și întunecate (fig. 30.7, c).

❓ Ce observa I. Newton, dacă pe suprafața pe care el o șlefua erau asperități?

Pentru măsurătorile precise ale coeficienților dilatării liniare ai materialelor, indicilor de refracție ai substanțelor, pentru depistarea a suficient de mici concentrații ale impurităților în gaze și lichide ș.a.m.d. sunt folosiți *interferometrii* — aparate de măsurat de precizie foarte înaltă, al căror principiu de funcționare se bazează pe fenomenul interferenței luminii.

6 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Determinați grosimea peliculei de pe suprafața unei lentile, dacă pelicula este destinată pentru atenuarea maximă a undei de lumină cu lungimea de 555 nm (vezi fig. 30.3). Indicele absolut de refracție al peliculei — 1,231.

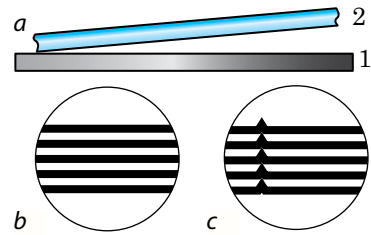


Fig. 30.6. Verificarea calității șlefuirii cu ajutorul interferenței. Dacă fabricatul (1) este neted, atunci franjele de interferență sunt paralele (b); dacă însă pe suprafața fabricatului este o zgârietură — franjele de interferență sunt îndoite în partea mării grosimii penei de aer (c)

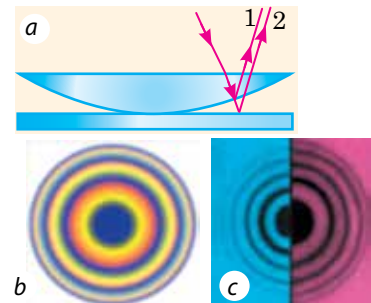


Fig. 30.7. Divizarea fasciculului de lumină în două fascicule coerente pe o pană de aer dintre lentilă și o placă de sticlă (a). Inelele lui Newton la iluminarea lentilei cu lumină albă (b), cu lumină monocromatică (albastră, roșie) (c)

Se dă:

$$\lambda_0 = 555 \text{ nm}$$

$$n = 1,231$$

 h — ?

Analiza problemei fizice, rezolvarea. Undele, reflectate de la suprafețele exterioară și interioară a peliculei trebuie să se stingă reciproc, de aceea diferența de drum a lor va corespunde condiției minimumului: $\Delta d = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$.

Deoarece în procesul aplicării unui strat antireflectant se tinde să se folosească pelicule cât se poate de subțiri, atunci cea mai mică grosime a peliculei va corespunde condiției: $\Delta d = \frac{\lambda}{2}$.

Lungimea de undă în peliculă este mai mică decât lungimea undei în vid de n ori: $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$. Peliculele sunt prevăzute pentru lumina ce cade după *normală*, de aceea diferența de drum este egală cu grosimea dublă a peliculei: $\Delta d = 2h$. Definitiv avem: $2h = \frac{\lambda_0}{2n} \Rightarrow h = \frac{\lambda_0}{4n}$.

Determinăm valoarea mărimii căutate: $h = \frac{555 \text{ nm}}{4 \cdot 1,231} \approx 113 \text{ nm}$.

Răspuns: $h \approx 113 \text{ nm}$.



Facem totalurile

- Pentru lumină, la fel ca și pentru oricare alte unde este caracteristic fenomenul interferenței — fenomenul suprapunerii undelor, în urma căruia în anumite puncte ale spațiului se observă amplificarea (sau atenuarea), stabile în timp ale oscilațiilor rezultante.

- O imagine interferențială stabilă poate fi observată numai în cazul undelor coerente, adică astfel de unde, care au aceeași frecvență și diferență de faze inițiale constantă. Se poate obține unde luminoase coerente, dacă fasciculul de lumină de la o sursă monocromatică se va împărți în două fascicule, care sunt orientate pe drumuri diferite. Coerente sunt de asemenea undele create de laseri.

- Condiția maximumului de interferență: diferența de drum a undelor este egală cu un număr întreg de lungimi de undă (un număr par de semiunde):

$$\Delta d = k\lambda = 2k \frac{\lambda}{2}.$$

- Condiția minimumului de interferență: diferența de drum undelor este egală cu un număr impar de semiunde: $\Delta d = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$.

- În practică interferența este utilizată pentru aplicarea unui strat antireflectant; aprecierea calității șlefuirii suprafeței fabricatelor și calității confecționării lentilelor; efectuarea măsurătorilor precise.



Întrebări pentru control

1. Dați definiția interferenței. **2.** Care unde se numesc coerente? **3.** Numiți condiția maximumului de interferență și condiția minimumului de interferență. **4.** De ce în domeniul optic este dificil de a crea surse de unde coerente? **5.** Ce proprietăți are radiația laser? **6.** Descrieți experiența lui T. Young de obținere a undelor luminoase coerente. În ce constă esența metodei lui? **7.** De ce peliculele subțiri au colorația curcubeului? **8.** În ce constă metoda aplicării stratului antireflectant cu ajutorul interferenței? **9.** Cum cu ajutorul interferenței de verificat calitatea șlefuirii a suprafețelor fabricatelor? **10.** Dați exemple ale apariției imaginilor de interferență în natură.



Exercițiul nr. 30

1. Poate oare fi observată interferența undelor luminoase, pe care le emit două becuri electrice? două lumânări? două arătătoare laser?
2. De ce scilpesc aripile fluturului? Ce se poate spune despre grosimea aripilor lui? De ce scilpește partea interioară (scilpitoare) a cochiliei?
3. Maximul sau minimul de interferență se va observa în punctul M , dacă diferența de drum a două unde luminoase, care ajung în acest punct este egală cu 0? este egală cu 3λ ? este egală cu $\lambda/2$?
4. Într-un oarecare punct ajung două unde luminoase coerente cu diferența de drum geometrică de $1,2 \mu\text{m}$. Lungimea de undă în vid — 600 nm . Determinați amplificarea sau atenuarea luminii va avea loc în acest punct, dacă lumina se propagă în vid; în apă; în diamant.
5. O placă transparentă de sticlă cu grosimea de $0,3 \mu\text{m}$ este iluminată de un fascicul de lumină monocromatică cu lungimea de undă de 600 nm , care cade perpendicular pe suprafața plăcii. Indicele de refracție al plăcii — $1,5$. Maximul sau minimul de interferență se va observa, dacă se va privi placa: a) în lumină refractată (fig. 1)? b) în lumină reflectată (fig. 2)? *Atrageți atenția:* dacă lumina se reflectă de la suprafața de separație cu un mediu cu o densitate optică mai mare, atunci apare o diferență suplimentară de drum $\lambda/2$.
6. Printre diversele aplicații practice ale interferenței luminii una dintre cele mai importante este *holografia*. Aflați, în ce constă esența holografiei, cum se creează o hologramă, care sunt particularitățile ei.

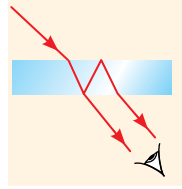


Fig. 1

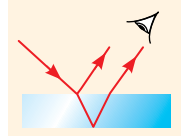


Fig. 2



Însărcinare experimentală

Într-un vas nu mare pregătiți o soluție apoasă de săpun. Confecționați din sârmă un cadru mic și scufundați-l în soluție. Scoateți atent cadrul din soluție și cercețați pelicula de săpun, care s-a format pe cadru. Colorați sau fotografiați figura, pe care ați observat-o și explicați apariția ei.

Fizica și tehnica în Ucraina



Alexandr Todorovici Smacula (1900–1983) — renumit fizician și inventator ucrainean. Folosind noțiunea de oscilatori cuantici A. T. Smacula a putut să explice colorarea radioactivă a cristalelor și să deducă corelația matematică cantitativă, cunoscută în știință ca *formula lui Smacula*. Lucrările savantului au permis să fie efectuată sinteza vitaminelor A, B2 ș. a., iar procesul de transformare a carbonului cristalin se numește acum *inversia lui Smacula*.

În anul 1935 A. T. Smacula a făcut o descoperire, datorită cărui fapt numele lui va rămâne pentru totdeauna în istoria științei, — metoda îmbunătățirii dispozitivelor optice (*acoperirile optice cu straturi antireflexive*). Esența descoperii constă în aceea, că suprafața lentilei se acoperă cu un strat special material cu grosimea de $1/4$ din lungimea undei incidente (a zecea parte din micrometru), ceea ce micșorează considerabil reflexia luminii de la suprafața lentilei și totodată mărește contrastul imaginii. Această descoperire a devenit o mare realizare, deoarece lentilele sunt elementul principal a celor mai multe aparate optice (aparaturilor de fotografiat, binocurilor, microscopelor ș. a.).

Anul 2000 a fost declarat de către UNESCO anul lui A. T. Smacula.

§ 31. DIFRAȚIA LUMINII



Aparatul cosmic «Voyager 1» deja peste 40 de ani călătorește prin spațiul cosmic

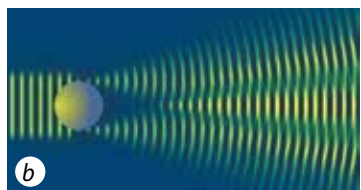
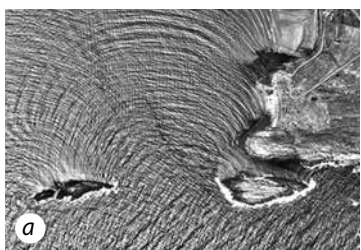


Fig. 31.1. Difracția undelor mecanice pe orificiu (a); pe obstacol (b). La o anumită distanță de la obstacol undele, suprapunându-se una peste alta formează imaginea de difracție

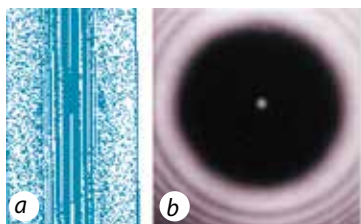


Fig. 31.2. Difracția undelor luminoase de la diferite obstacole: unei sârme subțiri (a); a unui ecran mic rotund netransparent (b)

Descriind acțiunea dispozitivelor optice, noi ne-am folosit de legile opticii geometrice. S-ar părea, că în conformitate cu aceste legi, cu ajutorul microscopelor se pot distinge cele mai mici piese, dar cu ajutorul telescopului — se pot observa obiectele cele mai îndepărtate. Însă aceasta nu e așa. Putem obține imagini clare ale obiectelor foarte îndepărtate numai cu ajutorul aparatelor cosmice și «examina» particule foarte mici — numai cu ajutorul unui microscop electronic, deoarece ne «încurcă» difracția. Să ne amintim, în ce constă acest fenomen.

1 Poate oare lumina ocoli obstacolele

Noi auzim bine semnalul unei mașini, aflate după colțul casei, doar undele sonore, la fel ca și oricare altele pot ocoli obstacolele.

Fenomenul ocolirii obstacolelor sau orice altă deviere a propagării undei de la legile opticii geometrice se numește **difracție** (de la latin. *diffRACTUS* — frânt) (fig. 31.1).

Difracția este proprie tuturor undelor independent de natură și se observă în două cazuri:

1) când dimensiunile liniare ale obstacolelor, pe care cade unda (sau dimensiunile orificiilor, prin care unda se propagă) sunt comparabile cu lungimea de undă;

2) când distanța de la obstacol până la locul de observare este cu mult mai mare decât dimensiunea obstacolului.

Undele, care ocolesc obstacolul sunt coerente, de aceea difracția totdeauna este însoțită de interferență. *Imaginea de interferență, obținută în urma difracției se numește imagine de difracție* (vezi fig. 31.1).

Deoarece lumina este undă, în cazul realizării a condițiilor menționate se poate observa și difracția luminii. Însă lumina — aceasta-i o undă foarte scurtă (400–760 nm), de aceea difracția pe un obiect cu dimensiunea, de exemplu, de 10 cm se poate observa tocmai la distanțe de câțiva kilometri. Dacă însă dimensiunile obstacolului sunt mai mici de 1 mm, difracția poate fi observată la distanțe de câțiva metri.

Difrakția luminii se numește ocolirea de către undele luminoase a marginilor corpurilor ne-transparente și pătrunderea luminii în porțiunea umbrei geometrice.

În [fig. 31.2](#) se arată, care este aspectul imaginilor de difracție de la diferite obstacole, ce sunt iluminate cu lumină monocromatică. Vedem, că umbra de la sârma subțire este înconjurată din ambele părți de franje luminoase și întunecate, iar în centrul umbrei este situată franja luminoasă ([fig. 31.2, a](#)). Umbra ecranului circular ne-transparent ([fig. 31.2, b](#)) este înconjurată de inele concentrice luminoase și întunecate; în centrul umbrei — o pată circulară luminoasă (pata lui Poisson).

Tot așa este înconjurată de inele luminoase și întunecate pata circulară de lumină, dacă lumina vine de la o sursă punctiformă puternică și trece printr-un orificiu circular mic ([fig. 31.3](#)); micșorând diametrul orificiului, se poate obține în centrul imaginii și o pată întunecată.

Dacă am ilumina obstacolul sau orificiul cu un fascicul de lumină albă, atunci pe figura de interferență în loc de franje întunecate și luminoase vor fi franje colorate, care pot fi ușor văzute, privind sursa de lumină printr-o bucăciță de capron sau prin gene. Imagini de difracție analoge deseori se observă și în natură ([fig. 31.4](#)).

2 Principiul lui Huygens — Fresnel

Teoria cantitativă a difracției luminii fost elaborată de către fizicianul francez *Augustin Jean Fresnel* (1788–1827), formulând principiul, care cu timpul a primit denumirea de **principiul lui Huygens — Fresnel**:

Fiecare punct al suprafeței ondulatorii este sursă de undă secundară, aceste unde secundare sunt coerente; suprafața ondulatorie în orice moment de timp este rezultatul interferenței undelor secundare.

Dacă o undă luminoasă plană cade pe o fantă îngustă, atunci pe ecranul, care este așezat la o distanță destul de mare de la fantă se poate observa figura de interferență ([fig. 31.5](#)). Să explicăm apariția ei, utilizând principiul lui Huygens — Fresnel.

Conform acestui principiu, fanta iluminată poate fi privită ca o cantitate numeroasă de

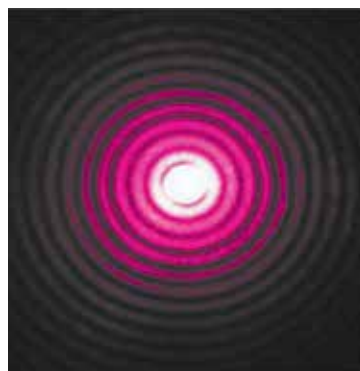


Fig. 31.3. Imaginea de interferență de la un orificiu circular mic



Fig. 31.4. Fenomenul natural «nimbul lui Buddha» apare în urma difracției luminii pe picăturile de apă foarte mărunte atunci, când lumina de la Soare străbate ceața sau norul

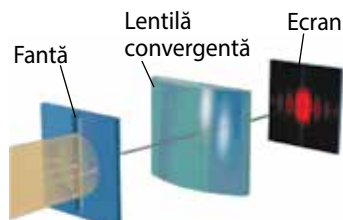


Рис. 31.5. Difrakția unui fascicul paralel de lumină pe o fantă îngustă. Lentila convergentă este amplasată pentru adunarea razelor paralele într-un punct

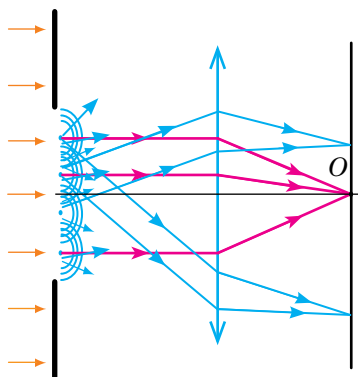


Fig. 31.6. Mersul razelor după difracția fasciculului paralel de lumină pe o fantă îngustă

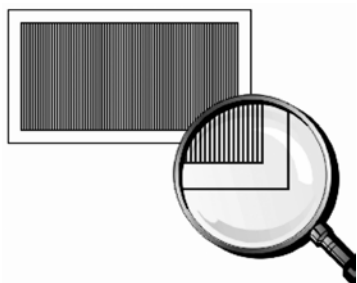


Fig. 31.7. Rețea plană de difracție

surse de lumină secundare, de la fiecare dintre care se propagă unde coerente în toate direcțiile (fig. 31.6). Diferența de drum a undelor secundare, ce cad perpendicular pe ecran (pe fig. 31.6 aceste unde sunt indicate cu roșu), este egală cu zero (lentila nu dă o diferență suplimentară de drum). De aceea toate undele secundare, care nimeresc în punctul O se amplifică una pe alta. Pentru alte puncte ale ecranului diferența de drum a undelor incidente deja nu va fi egală cu zero, de aceea în aceste puncte se pot observa maxime și minime de interferență, formând imaginea de difracție.

3 Rețeaua de difracție

Figura de difracție de la o undă plană se observă numai dacă lățimea fantei este de multe ori mai mică, decât distanța până la ecran. În această condiție pe ecran nimereste foarte puțină lumină. Pentru a obține o imagine clară de difracție se utilizează *rețeaua de difracție*.

Rețeaua de difracție — aceasta-i aparatul optic, acțiunea căruia este bazată pe fenomenul difracției luminii și care reprezintă în sine o succesiune de zgârieturi, duse pe o anumită suprafață la distanțe egale una de alta (fig. 31.7).

Pe rețelele de difracție calitative zgârieturile sunt trasate cu un cuțit de diamant de mașini speciale de separare. Cantitatea zgârieturilor atinge 2000 pe 1 mm.

Există *rețele de difracție reflectoare și transparente*. Pe rețelele reflectoare zgârieturile sunt trasate pe o suprafață oglinzită (metalică), pe rețelele transparente — pe o suprafață din sticlă. Cele mai simple rețele de difracție transparente sunt confecționate din gelatină, fixând-o între două rețele de difracție din sticlă (se confecționează mularul din gelatină).

Pe rețelele metalice observațiile se petrec numai în lumina reflectată, pe cele din sticlă — cel mai des în lumină trecătoare, pe cele din gelatină — numai în lumină trecătoare.

Lățimea totală d a porțiunilor transparentă și netransparentă ale rețelei de difracție se numește **perioada rețelei** sau **constanta rețelei**:

$$d = a + D = \frac{l}{N},$$

unde a — lățimea porțiunii netransparente (în rețele transparente) sau a franjei, care difuzează lumina (în rețelele reflectoare); D — lățimea porțiunii transparente (sau a franjei, ce reflectă lumina) (vezi fig. 31.8); N — cantitatea de zgârieturi pe segmentul cu lungimea l .

Să examinăm cum «funcționează» rețeaua de difracție în lumină trecătoare.

Dacă pe rețea cade o undă plană de lumină, atunci fiecare fantă devine sursă de unde secundare, care sunt coerente și se propagă în toate direcțiile. Dacă în drumul acestor unde se va amplasa o lentilă convergentă, atunci razele paralele una cu alta se vor aduna pe ecranul situat în planul focal al lentilei (fig. 31.8).

Din fig. 31.8 vedem, că diferența de drum Δd pentru două unde, ce se propagă de la fantele vecine sub unghiul φ , este egal cu: $\Delta d = d \sin \varphi$. Pentru ca în punctul ecranului să se observe maximum de interferență, diferența de drum trebuie să fie egală cu un număr întreg de lungimi de undă: $\Delta d = k\lambda$

De aici avem **formula rețelei de difracție**:

$$d \sin \varphi = k\lambda,$$

unde k — număr întreg: $k = 0$ — corespunde maximumului central (nul) ($\Delta d = 0$), $k = \pm 1$ — corespunde maximumului de ordinul întâi ($\Delta d = \lambda$) ș.a.m.d. Maximele de același ordin sunt situate simetric din ambele părți de la maximum central.

Atrageți atenția!

- Unghiul φ , sub care se observă maximum de interferență depinde de lungimea de undă, de aceea *rețelele de difracție descompun lumina nemonocromatică în spectru. Un astfel de spectru se numește **spectru de difracție*** (fig. 31.9).
- Lungimea de undă a unei de culoare violetă este mai mică decât lungimea unei de culoare roșie, de aceea *în spectrul de difracție liniile roșii sunt situate mai departe de maximum central, decât cele violete.*
- Pentru maximum central diferența de drum a undelor de orice lungime este egală cu zero, de aceea el totdeauna are culoarea luminii, care iluminează rețeaua.
- Măsurând unghiul φ , la care se observă maximum de interferență de ordinul k , și cunoscând perioada rețelei de difracție se poate măsura lungimea unei de lumină, ce cade pe rețea:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k}$$

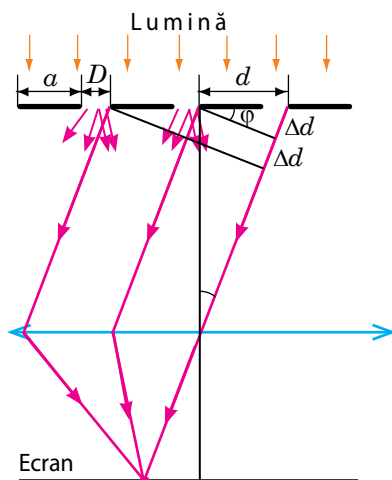


Fig. 31.8. Schema mersului razelor în timpul difracției unei plane de lumină pe rețeaua transparentă de difracție.

a – lățimea porțiunii netransparente; D – lățimea porțiunii transparente; d – perioada rețelei – lățimea totală a porțiunilor netransparentă și transparentă

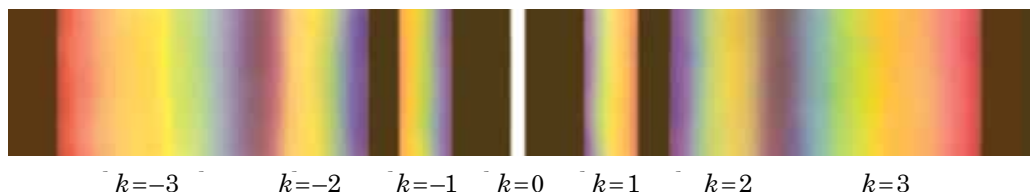


Fig. 31.9. Spectru de difracție

4 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Pe o rețea de difracție, care conține 200 de zgârieturi pe 1 mm este incidentă o undă monocromatică plană cu lungimea de undă de 500 nm. Determinați: a) unghiul, sub care se observă maximul de ordinul doi; b) cel mai mare ordin al spectrului, care poate fi observat în cazul incidenței după normală a razelor pe rețea.

Se dă:

$$N = 200$$

$$l = 10^{-3} \text{ m}$$

$$\lambda = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$k = 2$$

φ — ?

k_{\max} — ?

Analiza problemei fizice, rezolvarea.

Formula rețelei de difracție are aspectul: $d \sin \varphi = k \lambda$, unde $d = \frac{l}{N}$.

De aici avem:: $\sin \varphi = \frac{N k \lambda}{l}$. k obține valoarea maximă pentru $\sin \varphi = 1$,

deci, $k_{\max} = \frac{d}{\lambda} = \frac{l}{N \lambda}$.

Determinăm valoarea mărimilor căutate:

$$\sin \varphi = \frac{200 \cdot 2 \cdot 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{10^{-3} \text{ m}} = 0,20, \text{ de aici } \varphi \approx 0,20 \text{ rad};$$

$$k_{\max} = \frac{10^{-3} \text{ m}}{200 \cdot 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 10.$$

Răspuns: a) $\varphi \approx 0,20$ rad; b) $k_{\max} = 10$.



Facem totalurile

- Difracția luminii se numește ocolirea de către undele luminoase a marginilor corpurilor netransparente și pătrunderea luminii în porțiunea umbrei geometrice.

- Teoria cantitativă a difracției luminii a fost elaborată de către fizicianul francez A. Fresnel, formulând principiul, care cu timpul a primit denumirea de principiul lui «Huygens — Fresnel»: fiecare punct al suprafeței ondulatorii este sursă de undă secundară, aceste unde secundare sunt coerente; suprafața ondulatorie în orice moment de timp este rezultatul interferenței undelor secundare.

- Rețeaua de difracție — aceasta-i aparatul optic, care are aspectul unor fante amplasate periodic și servește pentru descompunerea luminii în spectru și pentru măsurarea lungimii de undă. Principala caracteristică a rețelei — perioada (constanta) d , a rețelei, care este egală cu distanța dintre două fante vecine.

- Formula rețelei de difracție: $d \sin \varphi = k \lambda$, unde φ — unghiul, la care se observă maximele de ordinul k pentru unda plană cu lungimea λ , care cade perpendicular pe suprafața rețelei.

Întrebări pentru control



1. Dați definiția difracției. 2. În ce condiții se observă difracția? 3. De ce în viața cotidiană noi nu observăm difracția luminii? 4. Formulați principiul lui Huygens — Fresnel. 5. Descrieți imaginile de difracție de la diferite obstacole. 6. Ce este rețeaua de difracție? Ce mărime fizică o caracterizează? 7. Care mărimi fizice leagă formula rețelei de difracție?



Exercițiul nr. 31

1. De ce noi nu putem vedea obiectele pe suprafața Lunii chiar și într-un telescop puternic?
2. Rețeaua de difracție are 50 de hașuri pe 1 mm. Determinați perioadaei.

- Pe rețeaua de difracție, care are 250 de hașuri pe 1 mm cade o lumină monocromatică cu lungimea de undă de 550 nm. Sub ce unghi se vede primul maxim de difracție? Câte maxime în total dă rețeaua?
- Pentru măsurarea lungimii undei de lumină este utilizată rețeaua de difracție, care are 1000 de hașuri pe 1 mm. Maximul de ordinul întâi pe ecran este obținut la distanța de 24 cm de la maximul central. Determinați lungimea de undă, dacă distanța de la rețeaua de difracție până la ecran este de 1 m.
- Rețeaua de difracție, care are 200 de hașuri pe 1 mm, este situată la distanța de 2 m de la ecran. Pe rețea cade lumină albă, lungimea de undă maximală a căreia este de 720 nm, minimală — 430 nm. Care este lățimea spectrului de ordinul întâi?

§ 32. POLARIZAREA LUMINII. POLARIZORI*



Ochiul omului este capabil să perceapă două caracteristici importante ale luminii: *culoarea* (lungimea undei luminoase) și *nivelul de iluminare* (energia undei luminoase). Lumina are și a treia caracteristică — *gradul de polarizare*, pe care ochiul omului nu este capabil să o perceapă, spre deosebire, de exemplu, de ochiul albinei. *Manifestarea polarizării luminii demonstrează univoc, că lumina — aceasta-i o undă transversală.*

1 Oare este polarizată lumina naturală

Unda de lumină este caracterizată de *vectorul intensității câmpului* \vec{E} și *vectorul inducției magnetice* \vec{B} , care oscilează în plane reciproc perpendiculare. Planul, în care oscilează vectorul intensității câmpului \vec{E} , se numește *plan de oscilații*. Planul, în care oscilează vectorul inducției magnetice \vec{B} , se numește *plan de polarizare*.

Molecula sau atomul luați aparte emit undă electromagnetică, pentru care planul oscilațiilor a vectorului \vec{E} , deci și a vectorului \vec{B} sunt bine determinați (fig. 32.1). Însă orice corp luminos constă dintr-o cantitate enormă

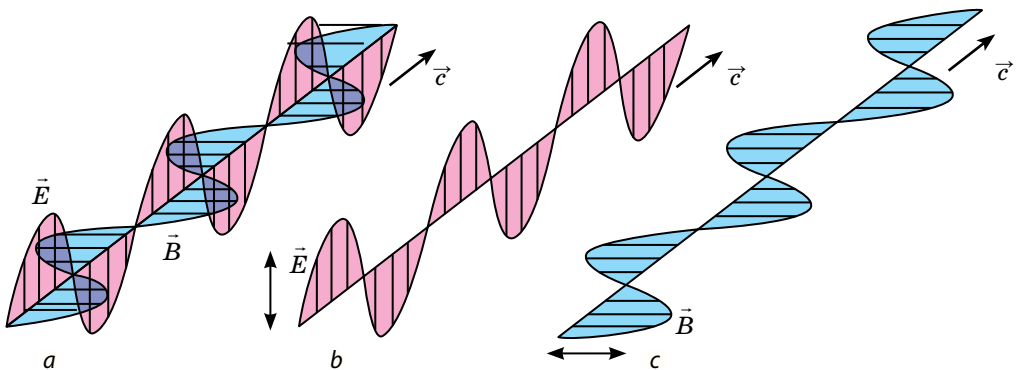


Fig. 32.1. Unda de lumină, emisă de un atom aparte (a). Planele de oscilații ale vectorului \vec{E} (b) și ale vectorului \vec{B} (c) sunt fixate

* Acest paragraf nu este obligatoriu pentru studiu.

de particule. Radiația fiecăreia din ele de obicei nu este legată cu radiația particulelor vecine, de aceea planurile de oscilații ale vectorilor \vec{E} diferiți nu depind unul de altul. În radiația sumară, care este emisă de corpul luminos, sunt o mulțime de plane de oscilații orientate diferit, iar amplitudinea medie a oscilațiilor vectorilor \vec{E} în orice plan este aceeași. Așa o lumină se numește **naturală** sau **nepolarizată**. Exemple de lumină nepolarizată sunt lumina solară, radiația becurilor de incandescență, becurilor lumina zilei ș.a.

Dacă în calea luminii naturale se amplasează un **polarizator** — aparat, care lasă să treacă undele de lumină numai într-un anumit plan de oscilații ale vectorilor \vec{E} , atunci în lumina, care a trecut prin polarizor oscilațiile vectorului \vec{E}' vor avea loc numai în acest anumit plan care este perpendicular pe direcția de propagare a undei (fig. 32.2). Așa o lumină se numește **planpolarizată** sau **liniar polarizată** (afară de polarizare liniară există și alte feluri de polarizare însă noi nu le vom studia).

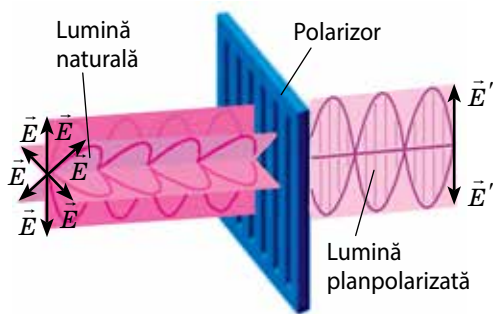


Fig. 32.2. În lumină planpolarizată oscilațiile vectorului \vec{E} au loc numai într-un plan

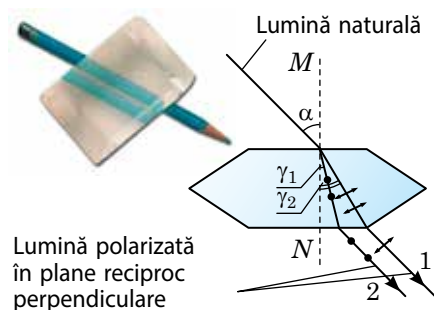


Fig. 32.3. Refracția dublă a razelor de lumină naturală în monocristalul spatului de Islanda. MN — axa optică a cristalului (lumina, orientată de-a lungul axei optice nu se refractă și nu se dublează)

2 Cum de obținut lumină polarizată

Să studiem câteva exemple de polarizare a luminii.

1. Încă la sfârșitul sec. XVII s-a descoperit că monocristalul din spatul de Islanda împarte în două fasciculele de lumină, care trec prin el. Acest fenomen, care poate fi observat la majoritatea cristalelor, a primit denumirea de *birefrință a razelor* (fig. 32.3). Încercarea de a obține figura de interferență prin suprapunerea a două fascicule refractate dă rezultat negativ măcar că aceste fascicule sunt coerente. Acest fapt se explică prin aceea, că fasciculele refractate sunt polarizate în plane reciproc perpendiculare: în fasciculul 1 oscilațiile vectorului \vec{E} au loc în direcția de propagare a luminii (este indicat prin săgeți); în fasciculul 2 — în planul, care este perpendicular pe direcția de propagare a luminii (este indicat prin puncte).

2. Dacă am decupa din monocristalul de turmalină de-a lungul axei optice a lui o placă, atunci ea va lăsa să treacă numai acele unde de lumină la care vectorul intensității câmpului este paralel cu axa optică a cristallui. Aceasta se poate vedea cu ajutorul altei plăci identice, rotind-o în planul care este paralel cu prima placă.

Pe măsura măririi unghiului dintre axele optice ale cristalele intensitatea luminii, care trece prin plăci se va micșora. Când axele cristalelor se vor stabili perpendicular una pe cealaltă, lumina nu va trece deloc — ea va fi absorbită. În acest caz prima placă va îndeplini funcția de *polarizor*, iar a doua — de *analizor*: polarizorul separă din lumina naturală un fascicul cu un singur plan de oscilații ale vectorului \vec{E} , analizorul determină planul, în care au loc oscilațiile din fasciculul polarizat (fig. 32.4). *Polarizorii și analizorii au o denumire comună — polaroizi.*

În practică în calitate de polaroizi se utilizează pelicule speciale, care sunt depuse pe o placă din sticlă sau din celuloză, de exemplu, pelicule din cristale de herapatit.

3. Lumina totdeauna se polarizează parțial la reflectarea și refractarea de pe suprafața unui dielectric. În unda reflectată vectorul \vec{E} de regulă este perpendicular pe planul de incidență, iar în cea refractată — este situat în planul de incidență.

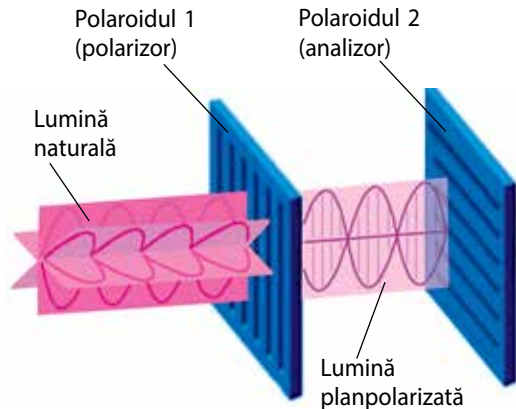


Fig. 32.4. Schema funcționării polarizorului și analizorului



Fig. 32.5. Dacă lumina cade pe suprafața apei sub un unghi, ce este egal cu unghiul lui Brewster, lumina reflectată va fi total polarizată în planul, care este perpendicular pe planul de propagare a luminii

Legea lui Brewster*: pentru fiecare pereche de medii transparente există un unghi de incidență , la care lumina reflectată devine total polarizată:

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n_{21},$$

unde n_{21} — indicele de refracție al mediului 2 în raport cu mediul 1.

Acest unghi de incidență se numește *unghiul lui Brewster* (fig. 32.5). În cazul unghiului lui Brewster razele reflectată și refractată sunt reciproc perpendiculare.

Polarizarea luminii reflectate (de exemplu, a reflectărilor de pe suprafața apei sau de pe vitrinele din sticlă)) determină metodele de luptă cu acest fenomen. Dacă ne vom uita la reflectare printr-un filtru de polarizare, atunci, rotind acest filtru nu e greu de ales un astfel de unghi de rotație al filtrului la care reflectarea va dispărea complet sau aproape complet. Utilizarea filtrelor de polarizare în fotografiere, pentru confecționarea ochelarilor protectori de soare, a parbrizului permite stingerea reflectărilor orbitoare ce provin de la vitrinele din sticlă, suprafața apei sau șoseaua umedă.

* În cinstea fizicianului scoțian *David Brewster* (1781–1868), care a descoperit această lege în a. 1815.



Facem totalurile

• Lumina, în care vectorii intensității câmpului \vec{E} oscilează în orice plan, iar amplitudinea medie a oscilațiilor vectorilor în fiecare plan este aceeași se numește naturală sau nepolarizată.

• Lumina, în care oscilațiile vectorilor \vec{E} au loc numai într-un plan se numește planpolarizată. Pentru polarizarea luminii sunt utilizate aparate speciale — polarizori.

• În cazul reflectării luminii de pe suprafața unui dielectric razele reflectată și refractată totdeauna sunt parțial polarizate. Unghiul de incidență α_B , la care unda reflectată este total polarizată se numește unghiul lui Brewster și se determină după formula $\text{tg}\alpha_B = n_{21}$, unde n_{21} — indicele relativ de refracție.



Întrebări pentru control

1. De ce lumina naturală totdeauna este nepolarizată? 2. Care lumină se numește planpolarizată? 3. Dați exemple de polarizare a luminii. 4. Ce funcții îndeplinesc polarizorii și cum în dependență de aceasta ei se numesc? 5. Ce este unghiul lui Brewster? 6. Cu ce scop sunt utilizate filtrele de polarizare?



Exercițiul nr. 32

- Alegeți un răspuns corect. Polarizarea luminii demonstrează, că lumina: a) poate ocoli obstacolele; b) este o undă electromagnetică; c) este o undă transversală; d) este o undă longitudinală.
- Una dintre însărcinările importante ale tehnicii luminoase — reglarea lină a iluminării. Există câteva metode de asemenea reglare, de exemplu variația intensității curentului în becuri cu ajutorul reostatului; trecerea luminii prin doi polarizi, unul dintre care se poate roti. În ce constă, după părerea voastră, prioritățile și dificultățile fiecăreia dintre metodele menționate?
- Lumina cade pe suprafața sticlei sub un unghi de 60° ; unghiul dintre razele reflectată și refractată este egal cu 90° . Care este indicele de refracție al acestui fel de sticlă? Ce proprietate are lumina reflectată?
- Sub ce unghi față de orizont sunt orientate razele solare, dacă reflectându-se de la suprafața apei ele sunt total polarizate?
- Șoferii automobilelor cunosc pericolul la mișcare, pe care îl poate prezenta orbirea cu lumina de la farurile altor mașini. Propuneți o metodă de protecție de la orbire, folosind fenomenul polarizării.
- Aflați, cum este utilizată polarizarea luminii pentru determinarea conținutului zahărului în soluție; cum «funcționează» ochelarii polarizatori; cum cu ajutorul polarizorilor se poate afla despre repartizarea tensiunilor în modelul deformat.



Însărcinare experimentală

Pentru polarizarea luminii este o analogie mecanică. Dacă de luat un șnur de cauciuc și, legându-l un capăt al lui în diferite direcții de creat o undă, atunci după trecerea printr-o fantă această undă va deveni planpolarizată. Dacă în calea undei planpolarizate se va amplasa o altă fantă, care este perpendiculară pe prima, atunci unda va dispărea (vezi desenul). Efectuați o experiență asemănătoare.



§ 33. FORMULA LUI PLANCK. CUANTE DE LUMINĂ



«...Noi știm, că lumina — aceasta-i o mișcare ondulatorie. Este imposibil să ne mai îndoim de aceste fapte, să negăm aceste priviri de neînțeles pentru fizicienii...» — scria în a. 1889 H. Hertz. La sfârșitul sec. XIX fizicienii nu aveau îndoieli despre aceea, că lumina — undă. Însă noi știm, că lumina — aceasta-i în același timp și undă, și particulă. Dar cum s-a născut știința despre particulele de lumină? Ce proprietăți au aceste particule?

1 Apariția teoriei cuantice

Apariția teoriei cuantice este legată cu stabilirea legităților radiației unui corp absolut negru.

Corpul absolut negru — aceasta-i modelul fizic al corpului, care absoarbe complet orice radiație, incidentă pe el.

În pofida denumirii, corpul absolut negru poate radia lumină. Aproape de radiația corpului absolut negru este radiația rugului, a filamentului lămpii de incandescență, radiația majorității stelelor etc. Spectrul radiației corpului absolut negru depinde numai de temperatura lui. Investigațiile experimentale au arătat, că distribuția energiei radiației în funcție de lungimea de undă are aspectul unei serii de curbe (fig. 33.1). Însă toate eforturile savanților de a obține o formulă universală a acestei dependențe au suferit eșec.

În toamna anului 1900, confruntând toate rezultatele cunoscute la acea oră, fizicianul german *Max Planck* (fig. 33.2) în sfârșit a stabilit formula, care completamente corespundea liniei curbilinii experimentale. Mai bine spus, savantul această formulă mai întâi pur și simplu a ghicit-o, el așa și nu a putut-o deduce, bazându-se pe legile electrodinamicii clasice a lui Maxwell. De aceea Planck a fost nevoit să lanseze ipoteza, care contrazicea închipuirilor clasice despre natura luminii.

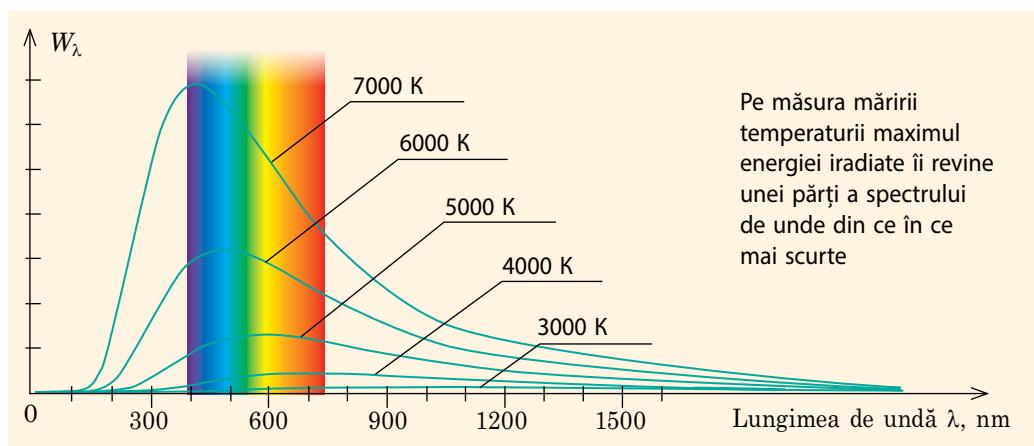


Fig. 33.1. Dependența energiei W_λ a undelor electromagnetice, emise în 1 s de pe o unitate de arie a suprafeței unui corp absolut negru, de lungimea de undă λ . Graficul arată, ce parte din întreaga energie a radiației îi revine undelor de o anumită lungime



Fig. 33.2. Max Karl Ernest Ludvig Planck (1858–1947) – remarcabil fizician-teoretic german, întemeietorul teoriei cuantice – teoriei moderne a mișcării, a interacțiunii și transformărilor reciproce ale particulelor microscopice

Fotonul este o particulă fără masă, însă lumina în întregime (ca un flux de fotoni) are masă. Astfel, pentru sistemul din doi fotoni, care au aceeași energie ($E = h\nu$) și zboară sub un unghi θ unul față de altul, masa sistemului se determină prin corelația:

$$M = \frac{2E}{c^2} \sin \frac{\theta}{2}.$$

Acest rezultat poate părea straniu, doar masa fiecărui foton este egală cu zero, dar $0 + 0 = 0$. Însă chestia constă în aceea, că în conformitate cu legile teoriei relativității masa nu este o mărime aditivă, adică masa totală a sistemului de corpuri nu este egală cu suma maselor corpurilor, ce formează acest sistem.

Ipoteza lui Planck:

Radiația undelor electromagnetice de către atomii și moleculele substanței are loc nu continuu, dar discret, adică prin porții separate, energia E a fiecăreia dintre care este direct proporțională cu frecvența ν a radiației:

$$E = h\nu,$$

unde h — mărime constantă.

Cu timpul «porțiile de energie» le-au numit *cuante de energie*, iar constanta h — *constanta lui Planck*. Conform datelor actuale, constanta lui Planck este egală cu:

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ j} \cdot \text{s} \approx 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ j} \cdot \text{s}$$

2 Facem cunoștință cu proprietățile fotonilor

Pentru a se «împăca» cumva cu concepțiile clasice despre natura electromagnetică a luminii, M. Planck inițial a hotărât că lumina se iradiază numai cu cuante, dar se propagă și se absoarbe continuu. Situația s-a schimbat radical, când *Albert Einstein* (1879–1955) a studiat proprietățile radiației termice într-un mod nou.

Folosind analogia dintre formulele cunoscute pentru gazul ideal, Einstein a demonstrat, că radiația monocromatică de densitate mică se comportă așa de parcă este compusă din N «cuante de energie independente una de alta». Einstein a ajuns la concluzia, că chestia constă nu numai în cuante, ci în particulele reale din care este compusă orice radiație electromagnetică. Ulterior particulele de lumină (*cuantele de lumină*) au fost numite **fotoni**.

Conform concepțiilor actuale, **fotonii au următoarele proprietăți**.

1. *Sarcina fotonului este egală cu zero:* $q = 0$ — fotonul este o particulă neutră.
2. *Masa fotonului este egală cu zero:* $m = 0$ — fotonul este o particulă fără masă.
3. *Viteza mișcării fotonului* nu depinde de alegerea sistemului de referință, totdeauna este *egală cu viteza de propagare a luminii în vid* ($v_f = c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s) și este legată cu frecvența și lungimea undei respective de lumină prin *formula unde*: $c = \lambda\nu$.

Atrageți atenția! Nu trebuie de confundat viteza propagării undei de lumină în substanță cu viteza de mișcare a fotonului. Fotonii în substanță se mișcă de la un atom la altul, sunt absorbiți de ei și din nou radiați.

4. *Energia fotonului* este direct proporțională cu frecvența radiației electromagnetice, a cărei cuantă și este acest foton: $E = h\nu$. În cazul absorbției luminii de către substanță fotonul transmite toată energia particulelor substanței.

5. *Impulsul fotonului* este egal cu raportul dintre energia lui și viteza mișcării și este invers proporțională lungimii de undă a fotonului:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

6. *Fotonii sunt emiși* în timpul trecerii particulelor substanței din starea excitată într-o stare cu o energie mai mică, în cazul mișcării accelerate a particulelor încărcate, descompunerii unor particule, anihilării.

Proprietățile fotonilor aduse mai sus au fost stabilite nu deodată. La începutul sec. XX însăși ideea existenței a particulelor de lumină întâlnea o neînțelegere categorică. Doar interferența și difracția luminii arătau că lumina — acestea-s unde. Peste 50 de ani după apariția ipotezei lui M. Planck, când existența fotonilor deja nu se punea la îndoială, A. Einstein scria: «...după 50 de ani de meditații eu așa și nu am putut să mă apropiu de răspunsul la întrebarea, ce este totuși cuanta de lumină».

3

Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Puterea de consumare a unui bec de incandescență — 100 W. Câți fotoni pe secundă emite filamentul becului, dacă pentru radiația luminii se consumă 4,4 % din energia electrică? Considerați, că lungimea de undă a radiației constituie 600 nm.

Analiza problemei fizice. Conform condiției, radiația becului poate fi studiată ca o mulțime de fotoni cu aceeași energie. Deoarece fiecare foton are energia E , energia sumară a lor este egală cu $W = EN$, iar puterea radiației

(puterea utilă) $P_{\text{utilă}} = \frac{W}{t}$, unde t — timpul, în care becul emite N fotoni. Puterea utilă poate fi aflată din corelația: $\eta = \frac{P_{\text{utilă}}}{P_{\text{consum}}}$.

Se dă:

$$P_{\text{consum}} = 100 \text{ W}$$

$$t = 1 \text{ s}$$

$$\eta = 0,044$$

$$\lambda = 6,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

N — ?

Rezolvarea. Energia fotonului este egală cu: $E = h\nu$, unde

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \text{ de aceea } E = \frac{hc}{\lambda}. \text{ Astfel, } P_{\text{utilă}} = \frac{W}{t} = \frac{EN}{t} = \frac{h\nu N}{t} = \frac{hcN}{\lambda t}.$$

Din formula randamentului avem: $P_{\text{utilă}} = \eta P_{\text{consum}}$.

$$\text{Așadar, } \eta P_{\text{consum}} = \frac{hcN}{\lambda t} \Rightarrow N = \frac{\eta P_{\text{consum}} \lambda t}{hc}.$$

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[N] = \frac{\text{W} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{J} \cdot \text{s} \cdot (\text{m/s})} = \frac{(\text{J/s}) \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{J} \cdot \text{m}} = 1;$$

$$N = \frac{0,044 \cdot 100 \cdot 6,0 \cdot 10^{-7}}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8} = 1,3 \cdot 10^{19}.$$

Răspuns: $N = 1,3 \cdot 10^{19}$.



Facem totalurile

• Lumina este radiată cu porții separate de energie — cuante. Energia cuantei depinde numai de frecvența unei luminoase: $E = h\nu$, unde $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ — constanta lui Planck.

• A. Einstein a demonstrat, că lumina este radiată, se absoarbe și se propagă sub formă de particule de lumină — fotoni.

• Conform concepțiilor actuale, fotonul este o particulă neutră, care nu are masă, se mișcă cu o viteză, ce este egală cu viteza luminii în vid, are energia $E = h\nu$ și impulsul $p = \frac{h}{\lambda}$, unde λ — lungimea de undă.



Întrebări pentru control

1. Ce este corpul absolut negru? 2. Cum sunt legate temperatura corpului, lungimea unei luminoase și energia, pe care o emite corpul (vezi fig. 33.1)? 3. În ce constă ipoteza lui M. Planck? 4. Cum de calculat energia unei cuante de radiație? 5. Ce este fotonul? Ce proprietăți el are?



Exercițiul nr. 33

1. Dacă de privit cerul înstelat, se poate observa, că stelele au diferite nuanțe de azuriu, galben, roșu etc. suprafețele căror stele au o temperatură mai mare? argumentați-vă răspunsul, folosind graficul din fig. 33.1.
2. Determinați energia, impulsul cuantei (fotonului) și lungimea de undă a radiației electromagnetice cu frecvența de $5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.
3. Determinați impulsul și energia cuantei radiației ultraviolete, a cărei lungime de undă este de 20 nm.
4. Aflați impulsul fotonilor radiațiilor indigo și roșie, ale căror lungimi de undă sunt egale respectiv cu 480 și 720 nm. Energia căror fotoni este mai mare și de câte ori?
5. Durata impulsului unui laser cu rubin este de 1 ms. În acest timp laserul emite $2 \cdot 10^{19}$ fotoni cu lungimea de undă de 694 nm. Cu ce este egală puterea declanșării luminoase a laserului?
6. Sensibilitatea retinei ochiului la culoarea galbenă constituie $3,3 \cdot 10^{-18} \text{ W}$. Câți fotoni ai luminii galbene în fiecare secundă trebuie să absoarbă retina, pentru ca ochiul să fixeze prezența ei. Considerați, că lungimea de undă este egală cu 600 nm.
7. Care proprietăți ale fotonilor sunt în contradicție cu concepțiile voastre despre lumea înconjurătoare?

§ 34. EFECTUL FOTOELCTRIC. LEGILE EFECTULUI FOTOELCTRIC



Încă douăzeci de ani în urmă la majoritatea oamenilor îmbinarea de cuvinte «baterii solare» se asocia cu sistemul de asigurare a navelor cosmice cu energie. Dar deja în a. 2016 puterea sumară a bateriilor solare «terestre» constituia peste 100 GW, ceea ce este de aproape 10 ori mai mult decât puterea tuturor stațiilor atomoelectrice din Ucraina. Despre aceea, care descoperire științifică a dus la crearea acestor surse de energie electrică de perspectivă, voi veți afla din acest paragraf.

1 Ефект фотоелектрич і спостереження його

Феномен взаємодії світла з речовиною, який супроводжується випромінюванням електронів, називається **ефект фотоелектрич**.

Вони відрізняються *ефект фотоелектрич зовнішній*, при якому фотоелектрони вилітають з поверхні речовини і *ефект фотоелектрич внутрішній*, при якому електрони «випущені» світлом з молекул і атомів залишаються всередині речовини.

Ефект фотоелектрич зовнішній можна спостерігати за допомогою електрометра з цинковою пластинкою, закріпленою на ньому (рис. 34.1, а). Якщо пластинку зарядити негативною зарядом і освітлити її ультрафіолетом, стрілка електрометра швидко повернеться до нуля, що свідчить про швидке розрядження пластинки. У випадку позитивного заряду пластинки ефект не спостерігається. Це можна пояснити тим, що поглинаючи кванти ультрафіолетового випромінювання, пластинка випускає електрони (рис. 34.1, б). Якщо пластинка заряджена негативно, електрони відштовхуються від неї і вона втрачає заряд.

❓ Де саме показання електрометра на практиці не змінюються, якщо пластинка заряджена позитивно?

2 Легіе ефекту фотоелектрич

Ефект фотоелектрич зовнішній було відкрито фізиком німецького походження *Г. Герц* у 1887 році, а його дослідив російський фізик *Александр Григорович Столетов* (1839–1896) у роки 1888–1890. Для дослідження ефекту Столетов використав пристрій, схема якого зображена на рис. 34.2. У внутрішній частині вакуумної трубки знаходяться два електроди: катод (К) і анод (А), між якими підключено мікроамперметр (μА) і вольтметр (V). Тиск повітря всередині трубки підтримується на низькому рівні за допомогою вакуумного насоса (П), який підключено до системи за допомогою спеціального клапана.

Через скляне вікно трубки проходить пучок світла, який падає на катод. Під дією світла катод випускає електрони, які притягуються до анода. Інтенсивність фотопотоку вимірюється мікроамперметром. Якщо за допомогою потенціометра (П) змінювати напругу між електродами, інтенсивність фотопотоку також змінюється.

З рис. 34.3 видно, що при певній напрузі інтенсивність фотопотоку досягає свого максимуму і згодом залишається незмінною. Це відбувається при постійній частоті світла і різних значеннях його інтенсивності.

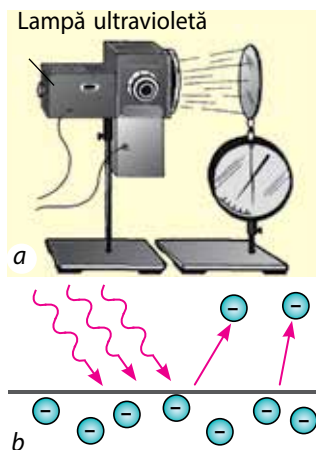


Fig. 34.1. Ефект фотоелектрич зовнішній: а — спостереження; б — механізм феномену

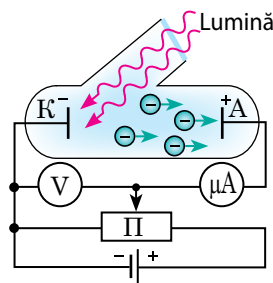


Fig. 34.2. Схема експерименту для дослідження ефекту фотоелектрич

Оскільки збільшення світлового потоку ($\Phi_2 > \Phi_1$) збільшує кількість електронів, які «випущені» світлом з поверхні катода, збільшується, внаслідок чого, збільшується струм насичення.

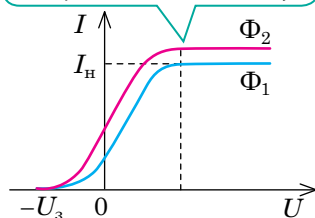


Fig. 34.3. Графік залежності інтенсивності фотопотоку I від напруги U між електродами при постійній частоті світла і різних значеннях його інтенсивності Φ

Odată cu mărirea frecvenței undei de lumină ($v_2 > v_1$) tensiunea de întârziere U_i (așadar, și viteza inițială maximă a fotoelectronilor) se mărește ($U_{i2} > U_{i1}$)

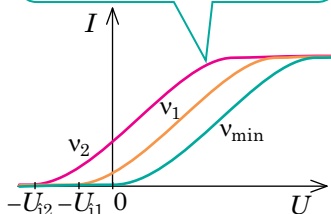


Fig. 34.4. Graficul dependenței intensității fotocurentului I de tensiunea U de pe electrozi în cazul fluxului constant a undei luminoase și diferite valori ale frecvenței radiației ce cade pe fotocatod

Legile efectului fotoelectric extern

Legea întâi. Cantitatea fotoelectronilor, pe care le emite catodul într-o unitate de timp este direct proporțională cu intensitatea luminii.

Legea a doua. Viteza inițială maximă a fotoelectronilor crește pe măsura măririi frecvenței luminii incidente și nu depinde de intensitatea luminii.

Legea a treia. Pentru fiecare substanță există lungimea maximă a undei luminoase $\lambda_{\text{roșu}}$ (pragul roșu al fotoefectului), la care începe efectul fotoelectric. Iradierea substanței cu unde luminoase cu lungime mai mare nu provoacă efectul fotoelectric.

atunci, când toți electronii, care sunt emiși de catod ajung la anod.

Cea mai mare valoare a intensității fotocurentului este numită intensitatea curentului de saturație I_s :

$$I_s = \frac{q_{\max}}{t} = \frac{Ne}{t},$$

unde q_{\max} — sarcina, transportată de fotoelectroni în timpul t ; N — numărul electronilor «extrași»; e — modulul sarcinii electronului.

Odată cu micșorarea tensiunii dintre electrozi intensitatea fotocurentului se micșorează (vezi fig. 34.3). Însă chiar și atunci când tensiunea dintre electrozi va deveni nulă, curentul nu va dispărea, doar fotoelectronii au o anumită viteză inițială, de aceea acei dintre ei care au zburat în direcția anodului, vor ajunge la el chiar și în lipsa câmpului. Pentru a măsura această viteză, anodul se conectează la polul negativ al sursei de curent, iar catodul — la cel pozitiv. În acest caz câmpul electric efectuează un lucru negativ și frânează electronii. La atingerea unei anumite tensiuni de întârziere (de stopare) U_i chiar și cei mai rapizi electroni nu vor ajunge la anod, și deci *curentul fotoelectric va înceta*. Conform teoremei despre energia cinetică lucrul câmpului electrostatic este egal cu variația energiei cinetice a fotoelectronului ($A_{el} = \Delta E_{c\max}$):

$$eU_i = \frac{mv_{\max}^2}{2},$$

unde m — masa electronului; v_{\max} — viteza inițială maximă a fotoelectronului.

Experiența arată, că *tensiunea de întârziere* (deci și viteza inițială a fotoelectronilor) *se mărește în cazul măririi frecvenței undei de lumină, care cade pe catod și se micșorează în cazul micșorării frecvenței ei*; la o anumită frecvență a undei de lumină efectul fotoelectric încetează (fig. 34.4).

Schimbând pe rând intensitatea și frecvența luminii incidente, și de asemenea materialul din care este confecționat catodul, A. G. Stoletov a stabilit *trei legi ale efectului fotoelectric* (vezi textul din stânga).

3 Pentru ce A Einstein a primit Premiul Nobel

Dacă prima lege a efectului fotoelectric putea fi explicată în limitele teoriei electromagnetice clasice

a luminii, atunci următoarele două legi erau în contradicție directă cu concepțiile, care existau la acel timp. A fost nevoie de peste 20 de ani și genialitatea a doi fizicieni — M. Planck și A. Einstein, pentru a găsi răspunsul la această «ghicitoare». Anume ideea lui Planck despre cuante a folosit Einstein pentru explicarea legilor efectului fotoelectric. La acea oră deja se știa, că fiecărui metal îi corespunde *lucrul său de ieșire* (vezi. tabelul):

Lucrul de ieșire a electronilor de pe suprafața unor metale
(1 eV = 1,6 · 10⁻¹⁹ J)

Metalul	A _{ieș} , eV
Wolfram	4,5
Aur	4,3
Potasiu	2,2
Cobalt	4,4
Litiu	2,4
Cupru	4,7
Nichel	4,5
Platină	6,35
Argint	4,3
Crom	4,6
Cesiu	1,8
Zinc	4,2

Lucrul de ieșire A_{ieș} — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează metalul și este egală cu energia, care trebuie transmisă electronului pentru aceea, ca el să poată învinge forțele, care îl mențin pe suprafața acestui metal.

A. Einstein a admis: *în urma absorbirii de către metal a fotonului energia fotonului (E_f = hν) poate fi transmisă în întregime electronului și să fie consumată numai pentru efectuarea lucrului de ieșire A_{ieș} și pentru ai furniza electronului energia cinetică E_{c max}.*

Ecuatia lui Einstein pentru efectul fotoelectric extern:

$$E_f = A_{ieș} + E_{c \max}, \text{ sau } h\nu = A_{ieș} + \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

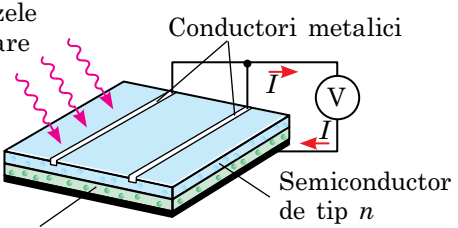
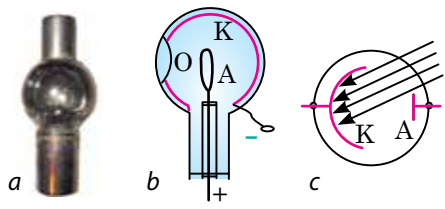
Ecuatia lui Einstein permite să fie explicate toate legile efectului fotoelectric. Anume pentru explicarea efectului fotoelectric A. Einstein a primit cel mai înalt premiu științific — Premiul Nobel (a. 1921).

Legile efectului fotoelectric	Explicația
1. Cantitatea fotoelectronilor, pe care le emite catodul într-o unitate de timp este direct proporțională cu intensitatea luminii.	Intensitatea mai mare a luminii înseamnă o cantitate mai mare de fotoni, care fiind absorbiți de către electronii substanței, favorizează emiterii lor.
2. Viteza inițială maximă a fotoelectronilor crește pe măsura măririi frecvenței luminii incidente și nu depinde de intensitatea luminii.	<i>Electronul poate absorbi numai un foton</i> (mai mulți — numai atunci când intensitatea luminii este foarte mare), de aceea energia cinetică maximă a electronului este determinată numai de energia fotonului, și deci de frecvența luminii și nu depinde de cantitatea fotonilor.
3. Pentru fiecare substanță există lungimea maximă a undei luminoase λ _{max} = λ _{roșu} (pragul roșu al fotoefectului), la care începe efectul fotoelectric. Iradierea substanței cu unde luminoase cu lungime mai mare nu provoacă efectul fotoelectric.	Lungimea maximă a undei luminoase (frecvența minimă) corespunde energiei minime a fotonului: dacă hν < A _{ieș} , atunci electronii nu-și vor lua zborul din substanță. Condiția $h\nu_{\min} = \frac{hc}{\lambda_{\max}} = A_{ieș}$ determină <i>pragul roșu al efectului fotoelectric.</i>

4

Unde și cum se aplică efectul fotoelectric

Efectul fotoelectric a primit o utilizare largă în aparatele pentru transformarea semnalelor luminoase în electrice sau pentru transformarea nemijlocită a energiei luminoase în energie electrică. Există două clase mari de astfel de aparate: *fotoelementele cu vid și semiconductoare*.

Fotoelementele cu vid	Fotoelementele semiconductoare
<p>Acțiunea fotoelementelor cu vid se bazează pe <i>efectul fotoelectric extern</i>.</p>	<p>Acțiunea fotoelementelor semiconductoare se bazează pe <i>efectul fotoelectric intern</i>.</p>
<p>Fotoelementele cu vid în cea mai mare măsură sunt aplicate în diverse <i>relee fotoelectrice</i> (pentru conectarea și deconectarea automată a iluminării, sortarea pieselor după formă și culoare, în sistemele de siguranță) și în <i>aparatele de măsură</i> (pentru măsurarea iluminării, măsurarea puterii semnalelor impulsurilor optice ș.a.m.d.). Mai jos este reprezentat aspectul (a), construcția (b) și notarea schematică (c) a fotoelementului cu vid.</p>	<p>Fotoelementele semiconductoare sunt aplicate în <i>fotoreceptorii</i>, extrasensibili, care transformă semnalele luminoase slabe în semnale electrice; în <i>bateriile solare</i>, în care energia solară se transformă în electrică.</p> 
 <p>Fotoelementul cu vid are următoarea construcție: într-un balon de sticlă, din care este evacuat aerul este fixat un inel de metal — anodul A; suprafața interioară a balonului, cu excepția unei ferestruici mici O, este acoperită cu un strat de metal, care servește drept catod K. Când prin ferestruică pe catod ni-merește lumina, catodul emite electronii, care se mișcă spre anod și circuitul electric, care conține fotoelementul se închide.</p>	<p>Fotoelementul semiconductor este compus din două plăci (straturi), care sunt confecționate din semiconductoare cu diferit tip de conductibilitate — electronică (semiconductor de tip <i>n</i>) și prin goluri (semiconductor de tip <i>p</i>). Lumina, ce cade pe stratul de tip <i>n</i>, «extrage» electronii din rețeaua cristalină. Electronii «eliberați» se mișcă spre stratul <i>p</i>, unde ocupă golurile libere. În urma acestui proces între straturi apare o diferență de potențiale. Fotoreceptorii sunt utilizați în <i>aparatele de fotografiat digitale</i> — matricea lor este compusă dintr-un număr mare de fotoelemente semiconductoare, fiecare dintre care recepționează partea «sa» din fluxul luminos, o transformă în semnal electric și o transmite în locul corespunzător al ecranului. Utilizarea efectului fotoelectric în energetică este legată în primul rând de <i>bateriile solare</i>.</p>

5

Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. O placă din zinc este iluminată cu lumină monocromatică ce are lungimea de undă de 300 nm. Ce potențial maxim va obține placa? Pragul roșu al fotoefectului pentru zinc $\lambda_{\max} = 332$ nm.

Analiza problemei fizice. Placa încetează să piardă electroni atunci, când electronii sunt complet reținuți de către câmpul electric al plăcii, care datorită efectului fotoelectric obține sarcină pozitivă. Considerând, că potențialul punctelor câmpului la o distanță suficientă de la placă este egal cu zero, avem: $U_1 = \varphi$.

Se dă:

$$\begin{aligned} \lambda &= 3,00 \cdot 10^{-7} \text{ m} \\ \lambda_{\max} &= 3,32 \cdot 10^{-7} \text{ m} \\ e &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ h &= 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \\ c &= 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

φ — ?

Căutarea modelului matematic, rezolvarea.

Conform formulei lui Einstein: $h\nu = A_{\text{ieș}} + \frac{mv_{\max}^2}{2}$,

unde $v = \frac{c}{\lambda}$, $A_{\text{ieș}} = \frac{hc}{\lambda_{\max}}$, $\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_1$.

Considerând, că $U_1 = \varphi$, avem: $\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{\max}} + e\varphi$, deci:

$$\varphi = \frac{\frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_{\max}}}{e} = \frac{hc}{e} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\max}} \right).$$

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[\varphi] = \frac{\text{J} \cdot \text{s} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{C}} \left(\frac{1}{\text{m}} - \frac{1}{\text{m}} \right) = \frac{\text{J} \cdot \text{m}}{\text{C} \cdot \text{m}} = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V};$$

$$\varphi = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \left(\frac{1}{3,00 \cdot 10^{-7}} - \frac{1}{3,32 \cdot 10^{-7}} \right) \approx 0,40 \text{ (V)}.$$

Răspuns: $\varphi \approx 0,40 \text{ V}$.



Facem totalurile

• Fenomenul interacțiunii luminii cu substanța, care este însoțită de emisia electronilor, se numește efect fotoelectric.

• Sunt stabilite pe cale experimentală trei legi ale efectului fotoelectric.

1. Cantitatea fotoelectronilor, pe care le emite catodul într-o unitate de timp este direct proporțională cu intensitatea luminii.

2. Viteza inițială maximă a fotoelectronilor crește pe măsura măririi frecvenței luminii incidente și nu depinde de intensitatea luminii.

3. Pentru fiecare substanță există lungimea maximă a unde luminoase λ_{\max} (pragul roșu al fotoefectului), la care începe efectul fotoelectric. Iradierea substanței cu unde luminoase cu lungime mai mare nu provoacă efectul fotoelectric.

• Ecuația lui Einstein pentru efectul fotoelectric a permis explicarea legilor efectului fotoelectric din poziția teoriei cuantice: $E_f = A_{\text{ieș}} + E_{c \max}$, sau

$$h\nu = A_{\text{ieș}} + \frac{mv_{\max}^2}{2}.$$

• Efectul fotoelectric este utilizat în diferiți senzori pentru sistemele de dirijare și siguranță. Astăzi ramura principală de utilizare a fotoefectului intern — confecționarea bateriilor solare.

Întrebări pentru control



1. Dați definiția fotoefectului. 2. Prin ce se deosebește fotoefectul intern de cel extern? Unde ei sunt utilizați? Unde ele sunt utilizate? 3. Descrieți dispozitivul pentru studierea efectului fotoelectric. Care mărimi fizice se măsoară în timpul efectuării experimentului? Cum se prezintă rezultatele lui? 4. Ce concluzii se pot face, analizând caracteristica volt-amperică a efectului fotoelectric? Care mărimi fizice se pot determina din acest grafic? 5. Formulați legile efectului fotoelectric și explicați-le, bazându-vă pe ecuația lui A. Einstein pentru fotoefect.



Exercițiul nr. 34

1. Schema cărui experiment este reprezentată în fig. 1? Cine pentru prima dată a propus acest experiment? Ce fenomene a observat savantul?
2. Fotonii cu energia de 3,4 eV provoacă fotoefectul de pe suprafața cesiului. Care este energia cinetică maximă a fotoelectronilor?
3. Energia fotonilor, care cad pe fotocathod este de trei ori mai mare decât lucrul de ieșire al electronilor de pe suprafața materialului, din care este confecționat fotocathodul. Aflați raportul dintre energia cinetică maximă a fotoelectronilor și lucrul de ieșire.
4. Care este pragul roșu al efectului fotoelectric pentru cesiu? Se va observa oare efectul fotoelectric, dacă modelul, confecționat din cesiu va fi iluminat cu lumină vizibilă?
5. În fig. 2 este reprezentată caracteristica volt-amperică a efectului fotoelectric pentru un metal oarecare. Construiți caracteristica volt-amperică pentru acest metal 1) în cazul măririi frecvenței luminii incidente; 2) în cazul micșorării fluxului incident de lumină.
6. Determinați energia cinetică maximă a fotoelectronilor «smulși» din fotocathodul din potasiu de către lumina violetă cu lungimea de undă de 420 nm.
7. Pragul roșu al efectului fotoelectric pentru un metal oarecare corespunde lungimii de undă de 600 nm. Care este frecvența radiației, ce provoacă emiterea fotoelectronilor, ai căror energie cinetică este de trei ori mai mare decât lucrul de ieșire?
8. Găsiți frecvența luminii, dacă electronii «smulși» de această lumină de pe suprafața metalului sunt complet opriți de tensiunea de 2,0 V. Efectul fotoelectric în acest metal începe la frecvența luminii incidente de $6 \cdot 10^{14}$ Hz.
9. Din graficul dependenței tensiunii de întârziere de frecvența luminii incidente (fig. 3) aflați constanta lui Planck.
10. Bateriile solare la momentul de față este una dintre cele mai perspective surse de energie electrică. Aflați, în care țări această ramură a energiei se dezvoltă cel mai bine. Care sunt perspectivele dezvoltării ei în Ucraina?

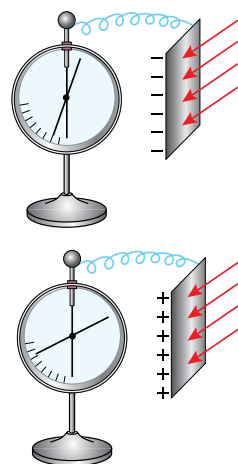


Fig. 1

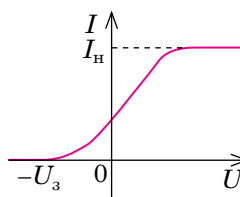


Fig. 2

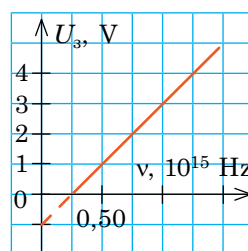


Fig. 3

PROFESIILE VIITORULUI



Specialist în proiectarea, instalarea, întreținerea centralelor electrice solare

Cu douăzeci de ani în urmă, utilizarea surselor alternative de energie părea a fi ceva ciudat. Iar acum există deja țări, în care producția de energie electrică cu ajutorul surselor alternative, în special a bateriilor solare, depășește 50% din bilanțul total. Și această tendință va fi menținută. Deci, următoarea noastră previziune pentru profesia viitorului — specialiștii în proiectarea, instalarea și întreținerea centralelor electrice solare.

§ 35. SCALA UNDELOR ELECTROMAGNETICE. UNDE ELECTROMAGNETICE ÎN NATURĂ ȘI TEHNICĂ



Undele electromagnetice (radiația electromagnetică) — propagarea în spațiu a oscilațiilor câmpului electromagnetic. Undele electromagnetice pot fi emise de diferite obiecte — de la stelele enorme până la nucleele atomice. Despre scala undelor electromagnetice voi ați aflat în cursul de fizică pentru clasa a 9-a. Deci, să ne amintim și să aflăm ceva nou.

1 Scala undelor electromagnetice

Scala (spectrul) undelor electromagnetice — consecutivitatea continuă de frecvențe și lungimi ale undelor electromagnetice, care există în natură.

După metoda de emisie a undelor, care aparțin unei sau altei porțiuni a spectrului sunt destinate: radiațiile de joasă frecvență și radiourile; radiația infraroșie, lumina vizibilă și radiația ultravioletă; radiația Röntgen; radiația gama (fig. 35.1).

Vre-o deosebire principală între porțiunile spectrului aparte luate nu este — toate aceste tipuri de radiații reprezintă prin sine unde electromagnetice. Aceste unde se propagă în vid cu aceeași viteză, care este egală cu viteza luminii; sunt generate de particulele încărcate, care se mișcă accelerat; concomitent au și proprietăți ondulatorii, și cuantice, deoarece dualismul undă-corpusul — aceasta-i o proprietate generală a naturii. Odată cu mărirea frecvenței (micșorarea lungimii) pe primul plan treptat ies proprietățile cuantice ale radiației electromagnetice. În domeniul optic și proprietățile cuantice, și cele ondulatorii ale radiației electromagnetice se dovedesc a fi aproape la fel.

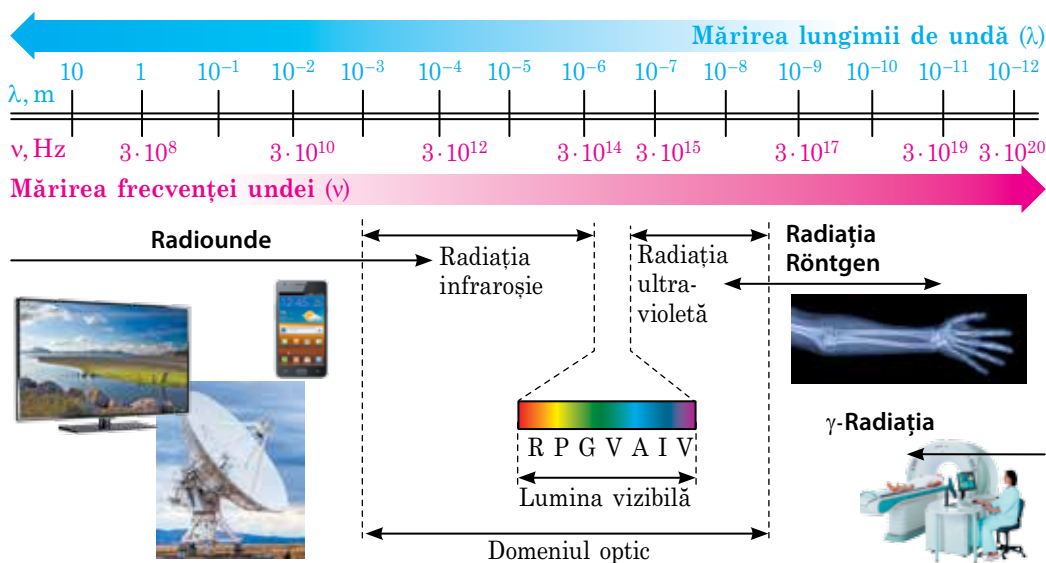


Fig. 35.1. Scala (spectrul) undelor electromagnetice — consecutivitatea continuă de frecvențe și lungimi de undă ale undelor electromagnetice, ce există în natură

❓ Sperăm, că nu vă este complicat să dați exemple pentru confirmarea ultimei afirmații.

Să studiem spectrul undelor electromagnetice mai amănunțit.

2 Radiunde

Radiunde — undele electromagnetice cu lungimea de undă de la 100 km (3 kHz) până la $\sim 0,1$ mm (3 THz).

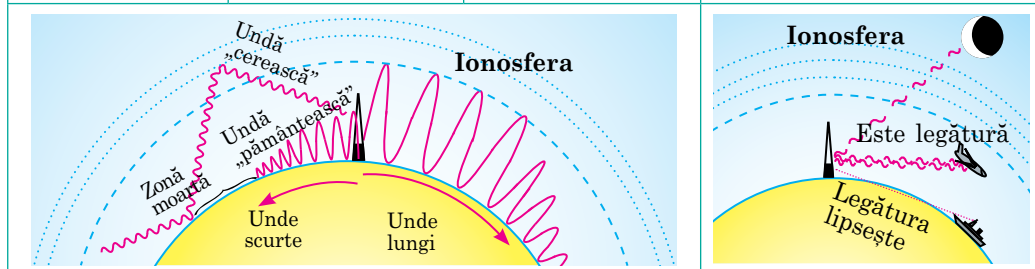
Radiunde — de la supralungi cu lungimea de undă de peste 10 km până la cele ultrascurte și microunde cu lungimea mai mică decât 0,1 mm — sunt generate de curentul electric alternativ

Radiația de frecvență joasă (radiunde supralungi) iau naștere, de exemplu, în jurul conductorilor, prin care trece curent alternativ, și în apropierea generatoarelor de curent electric. Deoarece energia acestor unde este foarte mică ele se pot propaga la o distanță mică și nu influențează în mod serios asupra organismelor, inclusiv asupra omului.

Undele electromagnetice din *domeniul radio* sunt generate de curentul alternativ de frecvență înaltă, pe care-l produc generatoarele de oscilații electromagnetice de frecvență înaltă.

Particularitățile propagării undelor din domeniul radio

Radiunde lungi	Radiunde medii	Radiunde scurte	Radiunde ultrascurte
Lungimea: de la 1 până la ~ 10 km	Lungimea: 100 m — 1 km	Lungimea: 10 — 100 m	Lungimea: de la $\sim 0,1$ mm până la 10 m
Sunt capabile să ocolească suprafața Pământului, de aceea multe radiostații internaționale fac emisiuni pe unde lungi; acest domeniu de unde este separat pentru navigarea maritimă.	Se propagă în limitele a 1 mie de km, deoarece se pot reflecta numai de la ionosferă. Radioemiunile de unde medii cel mai bine sunt recepționate noaptea, când se mărește capacitatea de reflexie a stratului ionosferic.	Reflectându-se de la ionosferă, revin pe Pământ, se reflectă de la suprafața lui, din nou se îndreaptă spre ionosferă, unde iarăși se reflectă. Astfel, reflectându-se de multe ori, radiounda poate de câteva ori ocoli globul pământesc.	Practic nu se reflectă de la ionosferă, se propagă în limitele vizibilității directe. În comparație cu alte unde din domeniul radio radiundele ultrascurte ușor se modulează, ele pot fi orientate printr-un fascicul îngust, ele mai puțin se difuzează. Anume din această cauză aceste radiunde au obținut o aplicație largă în legătura celulară, televiziune și radiolocație.



3 Undele electromagnetice din domeniul optic

Orice unde electromagnetice din domeniul optic *sunt emise de atomii excitați în timpul trecerii lor într-o stare cu un nivel mai mic de energie*. Excitarea atomului are loc în urma absorbirii de el a unei anumite porții de energie (cuante). De exemplu, în timpul ciocnirii neelastice a atomilor (sau moleculelor) o parte din energia lor cinetică se poate consuma pentru excitare, iar apoi se poate emite sub formă de o cantă de lumină. Fiecare atom izolat asemenea conturului oscilant, poate emite numai unde de anumite frecvențe (e drept, că conturul oscilant emite unde numai de o singură frecvență).

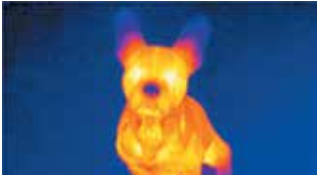


Radiația infraroșie (termică)	Lumina vizibilă	Radiația ultravioletă
		
<p>Lungimea de undă: de la ~ 760 nm până la ~ 1–2 mm</p>	<p>Lungimea de undă: de la ~ 400 până la ~ 760 nm</p>	<p>Lungimea de undă: de la ~ 10 până la ~ 400 nm</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Raze infraroșii emit orice corpuri, care au o temperatură mai înaltă de zero absolut. Anume pe aceasta se bazează aplicarea lor în termovizoare — aparate pentru viziunea nocturnă. • Ochiul omului nu este capabil să vadă radiația infraroșie, doar energia cuantei nu este suficientă, pentru a excita celulele nervoase în ochi. Însă mulți reprezentanți ai faunei au «acomodări speciale» — așa numitele «dispozitive de viziune nocturnă», care sunt capabile să perceapă aceste raze. • Radiația infraroșie de obicei este folosită pentru om, dar în cantități mari poate provoca amețeli, leșin — lovituri termică și solară. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lumină vizibilă emit corpurile destul de încălzite, totodată temperatura, la care corpul începe să emită lumină depinde de substanța din care este compus corpul. De radiația luminii vizibile sunt însoțite și unele reacții chimice (luminiscenta chimică), datorită cărora scipesc licuricii, radiolariile etc. • Lumina vizibilă albă se împarte în șapte culori: roșie, portocalie, galbenă, verde, albastră, indigo și violetă. <p>Ochiul uman cel mai bine percepe undele vizibile cu lungimea de undă de 555 m, care corespund porțiunii verzi a spectrului.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Radiație ultravioletă emite Soarele și alte stele, arcurile electrice, lămpile speciale cu cuarț. • Ochiul uman nu reacționează la radiația ultravioletă. Probabil, aceasta este legat de evoluție, doar aceste raze se absorb bine de apa, care intră în compoziția corneei ochiului. <p>Radiația ultravioletă are o activitate chimică înaltă, de aceea în doze mari ea influențează negativ asupra omului. Anume din această cauză nu trebuie de se aflat la soare, când radiația solară este cea mai intensă. Însă în cantități mici radiația ultravioletă este curativă: ea favorizează formarea vitaminei D, fortifică sistemul imun, stimulează o serie de funcții vitale importante în organism.</p>
<p><i>Atrageți atenția:</i> în domeniul optic al spectrului undelor electromagnetice devin esențiale fenomenele, condiționate de structura atomară a substanței, de aceea în afară de cele ondulatorii se manifestă și proprietățile cuantice ale radiației.</p>		



Fig. 35.2. Prima fotografie Röntgen: palma mâinii cu inel a Bertei Röntgen (soției lui W. Röntgen)

4 Radiația Röntgen

În sec. XXI este puțin probabil că se va găsi un om care cel puțin o dată în viață să nu fi făcut fotografia Röntgen. La sfârșitul secolului al XIX-lea imaginea mâinii omului cu structura vizibilă a oaselor (fig. 35.2.) a ocolit paginile ziarelor din lumea întreagă și a devenit o adevărată senzație pentru fizicieni. Pentru descoperirea în a. 1895 a radiației Röntgen fizicianul german *Wilhelm Conrad Röntgen* (1845–1923) a devenit primul laureat al Premiului Nobel pentru fizică.

Radiația Röntgen (razele X) — unde electromagnetice cu lungimea de undă de la $\sim 0,001$ nm până la ~ 100 nm.

Radiația Röntgen apare în urma interacțiunii electronilor rapizi cu atomii catodului în *tubul Röntgen*, care reprezintă în sine un vas din sticlă cu vid cu doi electrozi — anodul A și catodul K (fig. 35.3). Între electrozi se creează o tensiune înaltă (10–500 kV), iar prin catod se trece curent electric; când catodul se încălzește, atunci de pe suprafața lui încep să zboare (să se emită) electroni.

Amintiți-vă, cum se numește fenomenul emiterii electronilor de pe suprafața metalului în urma încălzirii.

Electronii, pe care le emite catodul, sunt accelerați de câmpul electric până la viteze enorme. Nimerirea lor pe anod cauzează două tipuri de radiație Röntgen: *de frânare*, condiționată de accelerația enormă a electronilor în timpul frânării lor pe anod și *caracteristică*, condiționată de excitarea energiilor înalte a învelișurilor electronice ale atomilor.

Cea mai largă utilizare a radiației Röntgen este în medicină, deoarece ea are proprietatea de a trece prin corpurile netransparente (de exemplu, corpul omului). Țesuturile oaselor sunt mai puțin transparente pentru radiația Röntgen decât alte țesuturi ale organismului omului, de aceea oasele se văd clar pe roentgenogramă. Radiația Röntgen efectuează acțiuni de ruinare asupra celulelor organismului, de aceea trebuie folosită cu multă precauție. Fotografierea Röntgen este de asemenea folosită în industrie (pentru descoperirea defectelor), în chimie (pentru analiza compușilor), în fizică (pentru cercetarea structurii cristalelor).

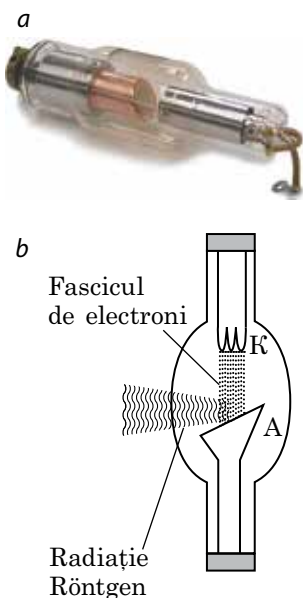


Fig. 35.3. Tubul Röntgen:
a — aspectul;
b — reprezentarea schematică

5 Radiația gama

Radiația gama (γ) — unde electromagnetice cu lungimea de undă mai mică de 0,05 nm.

Radiația γ este emisă de nucleele excitate ale atomilor în timpul reacțiilor nucleare și a modificărilor particulelor elementare.

Radiația γ este aplicată în defectoscopie (pentru descoperirea defectelor în interiorul pieselor); în chimia radiațiilor (de exemplu, în procesul de polimerizare); în gospodăria sătească și industria alimentară (sterilizarea alimentelor); în medicină (pentru sterilizarea încăperilor, terapia radiologică). Radiația γ efectuează asupra organismului influență de mutație și cancerigenă. Totodată radiația γ strict direcționată și dozată este folosită pentru distrugerea celulelor canceroase (terapia radiologică) (fig. 35.4).

Atrageți atenția! În domeniile radiației Röntgen și radiației γ în prim plan ies *proprietățile cuantice ale radiației electromagnetice*.



Facem totalurile

- Scala undelor electromagnetice — consecutivitatea continuă de frecvențe și lungimi ale undelor electromagnetice, care există în natură.

- După metoda de emisie și recepție a undelor, care aparțin unei sau altei porțiuni a spectrului sunt destinate: radiațiile și radiunde de joasă frecvență (sunt generate de curentul electric alternativ); radiația infraroșie, lumina vizibilă și radiația ultravioletă (este emisă de atomii excitați); radiația Röntgen (se obține în timpul frânării rapide a particulelor încărcate); radiația gama (este emisă de nucleele excitate ale atomilor).

- Toate tipurile de radiații sunt unde electromagnetice și, deci, se propagă în spațiu cu viteza luminii. O dată cu mărirea frecvenței (micșorării lungimii) undei se mărește puterea de penetrare a radiației electromagnetice și treptat ies pe primul plan proprietățile cuantice ale radiației electromagnetice.

Cine a descoperit «razele X»

Un aport deosebit în studierea radiațiilor X, care ulterior au fost numite raze Röntgen l-a efectuat renumitul fizician de oricine ucraineană *Ivan Pavlovici Puliui* (1845–1918), doar anume el în a. 1881 a descoperit tubul, pe care mai târziu l-a folosit în experimentele sale W. Röntgen și care a devenit prototipul tuburilor ale aparatelor Röntgen actuale. Specialiștii în istoria fizicii până acum se contrazic despre aceea, cine a descoperit în realitate «razele X» (vezi de asemenea rubrica «Fizica și tehnica în Ucraina» de la sfârșitul § 35).

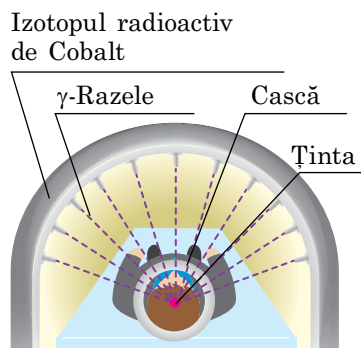


Fig. 35.4. Aplicarea radiației γ pentru tratarea bolilor canceroase. Pentru ca razele γ să nu distrugă celulele sănătoase, sunt utilizate câteva fascicule slabe de raze γ , care sunt focalizate pe tumoare



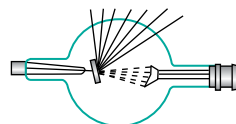
Întrebări pentru control

1. Numiți tipurile de radiații electromagnetice pe care le știți. 2. Ce este comun între toate tipurile de radiații electromagnetice? În ce constă deosebirea? 3. Cum se schimbă proprietățile radiației electromagnetice o dată cu majorarea frecvenței ei? 4. Dați exemple de utilizare a diferitelor feluri de radiații. 5. Cum de evitat influența negativă a unor tipuri de radiații electromagnetice asupra sănătății omului?

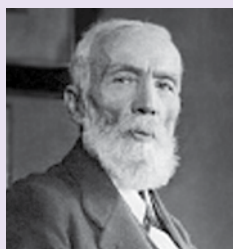


Exercițiul nr. 35

1. Schema cărui dispozitiv este reprezentată în figură? Cine pentru prima dată a creat acest dispozitiv? Numiți principalele părți ale dispozitivului.
2. De ce razele ultraviolete sunt utilizate pentru sterilizarea încăperilor, iar cele infraroșii — nu?
3. De ce sus în munte trebuie neapărat să protejăm ochii cu ochelari?
4. Ce viteză obțin electronii în tubul Röntgen, care funcționează sub o tensiune de 32 kV?
5. Se știe, că undele electromagnetice efectuează o acțiune chimică, în special datorită radiației electromagnetice are loc *fotosinteza*. Pregătiți o scurtă comunicare despre importanța fotosintezei pentru viața pe Pământ.
6. Bazându-vă pe proprietățile diferitelor tipuri de radiații electromagnetice, alcătuiți instrucțiunile cu privire la regulile de comportare în timpul aflării pe plajă; în timpul diagnosticului medical; în timpul lucrului la calculator.



FIZICA ȘI TEHNICA ÎN UCRAINA



Ivan Pavlovici Puliui (1845–1918) — fizician și electrotehnician de origine ucraineană, figură publică. Autorul aproape a 50 de lucrări științifice, în primul rând cu privire la problemele radiației catodice și a razelor catodice-X, electrotehnicii și electroenergeticii.

I. P. Puliui s-a născut în orașul Grâmailiv regiunea Ternopil. După absolvirea gimnaziului din Teropil și-a continuat studiile la universitatea de la Viena, a obținut titlul de doctor în filozofie naturală la universitatea din Strasbourg.

Până acum rămâne în contradicție întrebarea despre descoperirea razelor Röntgen și dacă numele lui *Wilhelm Röntgen* îl cunoaște întreaga lume, atunci numele lui Ivan Puliui a devenit cunoscut în lume nu demult. Însă încă cu 14 ani înaintea lui W. Röntgen I. P. Puliui a construit tubul, care mai târziu a devenit prototipul aparatelor Röntgen moderne.

I. P. Puliui a analizat cu mult mai profund decât W. Röntgen natura și mecanismul apariției razelor X (ulterior ele au fost numite raze Röntgen) și de asemenea prin exemple a demonstrat proprietățile lor. I. P. Puliui unul dintre primii a început construirea și confecționarea dispozitivelor cu vid. Pe larg a devenit cunoscută lampa cu descărcare luminiscentă în gaze, care a intrat în istoria tehnicii ca «lampa lui Puliui» (Pulujlampe). Imaginile în raze X, efectuate de către Puliui cu ajutorul acestei lămpi, cel mai des au fost reeditate în revistele științifico-populare din Europa ca fiind neîntrecute după calitate pentru ilustrarea aplicării acestor raze în medicină.

Încă una dintre lucrările savantului — invenția patentată, care a dat posibilitatea de a folosi linia de transmisie a curentului alternativ pentru comunicația telefonică concomitentă.

Numele lui I. P. Puliui îl poartă universitatea tehnică națională din Ternopil. ANȘU a fondat premiul în numele lui Ivan Puliui pentru lucrări renumite în domeniul fizicii aplicate.

Tema. Studiarea refracției luminii.

Scopul: de a studia refracția luminii la limita de separație «sticlă — aer», de a determina indicele de refracție al sticlei în raport cu aerul.

Utilajul: o placă de sticlă cu muchiile paralele, o foaie de carton gofrat, un creion, 4 ace cu gămălie, echer; foarfecă, un vas cu apă.



INDICAȚII LA LUCRARE

Respectați strict instrucțiunile tehnicii securității (vezi forțașul).

Rezultatele măsurărilor și calculelor introduceți-le deodată în tabel.

II

Pregătirea pentru experiment

1. Amintiți-vă cauzele refracției luminii, legile refracției; scrieți formula pentru determinarea indicelui de refracție.
2. Pregătiți desenele pentru efectuarea lucrării (vezi fig. 1). Pentru aceasta:
 - 1) puneți placa de sticlă pe foaia caietului și cu un creion trasați conturul plăcii;
 - 2) trasați dreapta k , perpendiculară pe segmentele, care corespund muchiilor paralele ale plăcii; notați punctul O .
 - 3) cu ajutorul compasului construiți un cerc cu raza de 3–4 cm și centrul în punctul O ;
 - 4) sub un unghi de aproximativ 45° duceți raza, care va reprezenta direcția fascicului de lumină, ce cade în punctul O ; notați punctul de intersecție al razei și cercului cu litera A ;
 - 5) repetați acțiunile descrise în punctele 1–4, mai de trei ori (efecuați mai trei desene), mai întâi măbind, iar apoi micșorând unghiul de incidență.

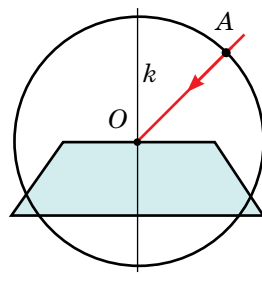


Fig. 1

▶

Experiența

1. Puneți sub foaia caietului cu primul contur foaia de carton gofrat, așezați placa de sticlă pe contur și înfișeți vertical în punctele A și O acele cu gămălie 1 și 2 (vezi fig. 2).
2. Privind prin placă la pozițiile acelor 1 și 2, stabiliți direcția razei refractate. Pentru aceasta în fața muchiei refractoare inferioare a plăcii înfișeți acele cu gămălie 3 și 4 astfel, încât bazele tuturor patru ace să pară a fi situate pe o dreaptă.
3. Înlăturați acele și placa, duceți prin bazele acelor 3 și 4 o dreaptă, notați punctul M și desenați raza refractată OM (vezi fig. 2 și 3).
4. Găsiți punctul de intersecție al razei OM cu cercul (punctul B).
5. Repetați acțiunile, descrise în punctele 1–4 mai pentru trei contururi.

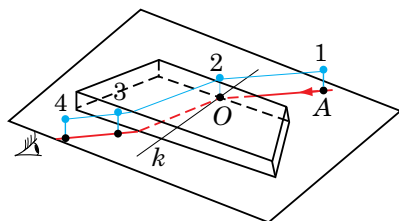


Fig. 2

▶ Prelucrarea rezultatelor experimentului

Pentru fiecare experiență:

1. Reprezentați unghiul de incidență și unghiul de refracție.
2. Din punctul A și B trasați perpendicularele pe dreapta k și măsurați lungimile a și b ale segmentelor obținute (vezi fig. 3).
3. Determinați indicele de refracție al sticlei în raport cu aerul: $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{a/r}{b/r} = \frac{a}{b}$.
4. Construiți graficul dependenței $a(b)$ și determinați valoarea medie a indicelui de refracție (vezi Anexa 2).
5. Determinați erorile relativă și absolută a măsurării indicelui de refracție al sticlei în raport cu aerul, rotunjiți rezultatele, folosind regulile rotunjirii (vezi Anexa 2).

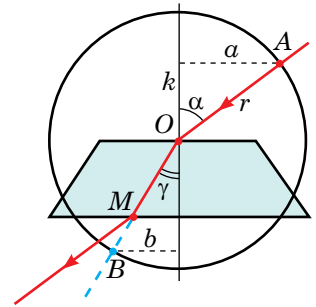


Fig. 3

Numărul experienței	Lungimea segmentului		Indicele de refracție		Eroarea experimentului		rezultatul $n = n_{\text{med}} \pm \Delta n$
	a , mm	b , mm	n	n_{med}	ε , %	Δn	

□ Analiza experimentului și a rezultatelor lui

După rezultatele experimentului formulați concluzia.

+ Însărcinare creativă

Folosind fig. 4, gândiți-vă și scrieți planul efectuării experienței de determinare a indicelui de refracție al apei în raport cu aerul. Tăiați din carton un cerc și efectuați experiența. Analizați rezultatele experienței și rezultatele ei.

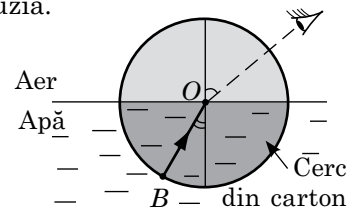


Fig. 4

i

LUCRARE EXPERIMENTALĂ NR. 6

Tema. Determinarea puterii optice a lentilei și a sistemului de lentile.

Scopul: de a determina puterea optică a lentilelor convergentă și divergentă; de a se convinge, că puterea optică a sistemului din două lentile subțiri, strâns lipite una de alta este egală cu suma puterilor optice ale acestor lentile: $D = D_1 + D_2$.

Utilajul: o lentilă convergentă cu distanță focală mică și o lentilă divergentă pe suporturi, ecran, sursă de lumină (lumânare sau bec electric), panglică de măsurat, șină de ghidare.



Fig. 1

INDICAȚII LA LUCRARE

Respectați strict instrucțiunile tehnicii securității (vezi forțașul).

Rezultatele măsurărilor și calculelor introduceți-le deodată în tabel.

II Pregătirea pentru experiment

Scrieți formula lentilei subțiri, analizați-o și gândiți-vă, ce măsurări trebuie să efectuați pentru a determina puterea optică a lentilei.

▶ Experiența

Experimentul 1. Măsurarea puterii optice a lentilei convergente

1. Montați instalația așa, cum este indicat în fig. 1, utilizând lentila convergentă.
2. Obțineți pe ecran imaginea clară mărită a sursei de lumină.
3. Măsurați distanța d_1 de la sursa de lumină până la lentila convergentă și distanța f_1 de la lentila convergentă până la ecran.

Experimentul 2. Măsurarea puterii optice a lentilei divergente

1. Montați instalația așa, cum este indicat în fig. 2, amplasând aparatele de-a lungul șinei de ghidare.
2. Deplasând lentila convergentă și ecranul, obțineți pe ecran imaginea clară micșorată a sursei de lumină.
3. Măsurați distanța d_2 de la sursa de lumină (S) până la lentila divergentă, notați pe șină poziția lentilei divergente (vezi fig. 3).
4. Înlăturați lentila divergentă și, fără a atinge lentila convergentă și ecranul, deplasați sursa de lumină în direcția lentilei convergente, până când pe ecran din nou nu va apărea imaginea clară a sursei de lumină.
5. Măsurați distanța f_2 de la locul, unde a fost lentila divergentă, până la poziția nouă a sursei de lumină (S_1) (vezi fig. 3).



Fig. 2

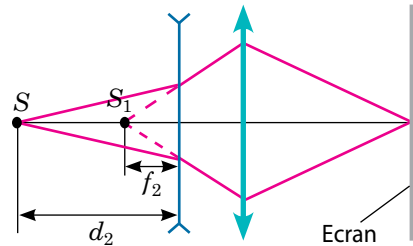


Fig. 3

Experimentul 3. Măsurarea puterii optice a sistemului de lentile, strâns lipite una de alta

1. Puneți lentilele divergentă și convergentă strâns lipite una de alta, amplasați sistemul de lentile între sursa de lumină și ecran și obțineți pe ecran imaginea clară mărită a sursei de lumină.
2. Măsurați distanța d_3 de la sursa de lumină până la sistemul de lentile și distanța f_3 de la sistemul de lentile până la ecran.

Lentila convergentă				Lentila divergentă				Sistemul de lentile				ε_D , %
d_1 , m	f_1 , m	D_1 , dptr	F_1 , m	d_2 , m	f_2 , m	D_2 , dptr	F_2 , m	d_3 , m	f_3 , m	D_3 , dptr	F_3 , m	

► Prelucrarea rezultatelor experimentului

1. Folosind formulele $D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ și $F = \frac{1}{D}$, determinați pentru fiecare experiment puterea optică și distanța focală a lentilei (sistemului de lentile).
Atrageți atenția: pentru experimentul 2 distanța f_2 de la lentilă până la imagine trebuie luată cu semnul «-», deoarece S_1 — aceasta-i imaginea virtuală a sursei S în lentila divergentă.
2. Apreciați eroarea relativă a experienței, folosind formula

$$\varepsilon_D = \left| 1 - \frac{D_1 + D_2}{D_3} \right| \cdot 100\% .$$

□ Analiza experimentului și a rezultatelor lui

După rezultatele experienței formulați concluzia.

+ Însărcinare creativă

Considerând, că adâncimea f a fundului ochiului (distanța de la centrul optic al sistemului «ochi» până la retină) este egală cu 15 mm, evaluați puterea optică maximă a ochiului vostru. Pentru aceasta închideți un ochi, iar în dreptul celui alt așezați un «paravan» — două degete despărțite. Privind prin «paravan» la o scobitoare, apropiați-o lin de «paravan» până când scobitoarea nu va începe să se dubleze. Măsurați distanța d de la scobitoare până la ochi și, folosind formula lentilei subțiri, determinați puterea optică a ochiului (D_{\max}).

LUCRARE EXPERIMENTALĂ NR. 7

Tema. Măsurarea lungimii unei luminoase.

Scopul: de a se învăța a măsura lungimea unei luminoase cu ajutorul rețelei de difracție.

Utilajul: lampă cu incandescență cu filament drept, dispozitiv pentru determinarea lungimii de undă, stativ cu mufă, rețea de difracție.

INDICAȚII LA LUCRARE

Respectați strict instrucțiunile tehnicii securității (vezi forzațul).

Rezultatele măsurărilor și calculelor introduceți-le deodată în tabel.

▮ Pregătirea pentru experiment

1. Determinați perioada d a rețelei de difracție. (De obicei pe rețea este indicată cantitatea de hașuri N pe 1 mm, iar perioada rețelei se calculează după formula: $d = \frac{10^{-3} \text{ m}}{N}$.)
2. Montați instalația reprezentată în fig. 1.

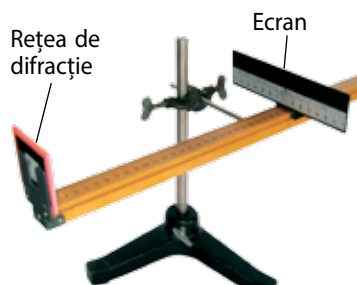


Fig. 1

▶ Experiența

1. Uităndu-vă prin rețeaua de difracție și fantă la lampa cu incandescență, observați pe ecranul aparatului spectrele clare de difracție, liniile cărora sunt paralele cu hașurile de pe scară (vezi fig. 2, fig. 3).



Fig. 2

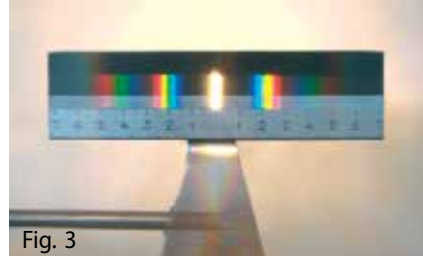


Fig. 3

2. După scara de pe ecran determinați mai întâi distanța a_1 de la centrul fantei până la marginea culorii violete a spectrului de ordinul întâi, situate la dreapta de fantă, apoi distanța a_2 de la centrul fantei până la marginea culorii violete a spectrului de ordinul întâi, situate la stânga de fantă.
3. Repetați acțiunile descrise în p. 2 pentru marginea culorii roșii a spectrului de ordinul întâi.
4. Măsurați distanța l de la rețea până la ecran.

Perioada rețelei d , m	Culoarea spectrului	Distanța de la centrul fantei până la margine			Distanța de la rețea până la ecran l , m	Lungimea de undă	
		a_1 , m	a_2 , m	a_{med} , m		măsurată λ , nm	tabelară λ_{tab} , nm
	violetă						380–450
	roșie						620–760

▶▶ Prelucrarea rezultatelor experimentului

1. Calculați valorile medii ale distanțelor de la fantă până la marginile respective ale culorilor violetă și roșie ale spectrului de ordinul întâi.
2. Folosind formula $\lambda = \frac{da_{med}}{l}$, calculați lungimea unei luminoase de culoare violetă și a unei luminoase de culoare roșie.
3. Apreciați eroarea relativă a experienței, comparând valorile lungimilor de undă, obținute în timpul experienței cu valorile tabelare:

$$\varepsilon_{\lambda} = \left| 1 - \frac{\lambda}{\lambda_{tab}} \right| \cdot 100\%.$$

□ Analiza experimentului și a rezultatelor lui

După rezultatele experienței formulați concluzia.

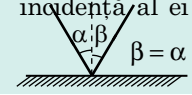
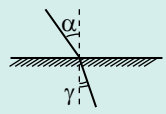
Însărcinare creativă

Determinați lungimea de undă a luminii de culoare roșie după spectrul de difracție de ordinul doi. Comparați valoarea obținută a lungimii de undă a luminii de culoare roșie cu aceea ce a fost obținută în timpul efectuării lucrării experimentale. Notați cauzele neconcordanței.

FACEM TOTALURILE CAPITOLULUI III «OPTICA»

- Voi ați lărgit cunoștințele voastre despre *lumină*, care este obiectul de studiu al *opticii* — capitolului fizicii care studiază fenomenele, legate cu propagarea undelor electromagnetice ale domeniului vizibil și a interacțiunii lor cu substanța.
- Voi v-ați amintit *fenomenele luminoase* și *legile propagării luminii*.

Legile opticii geometrice

Într-un mediu omogen transparent lumina se propagă rectiliniu	Fasciculele separate de lumină se propagă independent unul de altul	Unghiul de reflexie al luminii este egal unghiul de incidență al ei 	Pentru două medii date raportul sinusului unghiului de incidență către sinusul unghiului de refracție este o mărime constantă 
Reflexia totală $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$	Lentile: $D = \frac{1}{F}$ (puterea optică a lentilei); $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ (formula lentilei subțiri); $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$ (mărirea lentilei)	$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$; $n_2 = \frac{c}{v_2}$; $n_1 = \frac{c}{v_1}$	

- Voi ați aflat despre *proprietățile ondulatorii ale luminii*.

Lumina — aceasta-i unda electromagnetică cu lungimea de 400–760 nm.

$c = \lambda v$, unde c — viteza de propagare a luminii în vid; λ — lungimea unei luminoase în vid; v — frecvența unei luminoase

Dispersia Dacă $v_1 > v_2$, atunci $n_1 > n_2$	Interferența $\Delta d = k\lambda$ — condiția maximului $\Delta d = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$ — condiția minimului	Difracția Rețeaua de difracție: $d \sin \varphi = k\lambda$
---	--	--

- Voi ați constatat, că *lumina are în același timp și proprietăți ondulatorii și cuantice*.

Lumina — aceasta-i un fascicul de fotoni (cuante de lumină)

Ipoteza lui Planck Fotonii Energia: $E = hv$ Viteza: $v = c$ Masa: $m = 0$ Impulsul: $p = \frac{h}{\lambda}$	Experiențele lui A. G. Stoletov Ecuația lui Einstein pentru efectul fotoelectric: $hv = A_{ie\varphi} + \frac{mv_{\max}^2}{2}$
---	--

- Voi v-ați amintit despre *undele electromagnetice* și proprietățile lor, ați aflat despre particularitățile propagării undelor electromagnetice în spațiu.

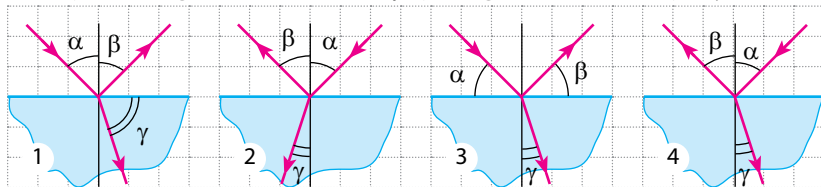
Undele electromagnetice (radiația electromagnetică) — aceasta-i propagarea în spațiu a oscilațiilor electromagnetice $c = \lambda v$

Radio-undele	Radiația infraroșie	Lumina vizibilă	Radiația ultravioletă	Radiația Röntgen	Radiația γ
--------------	---------------------	-----------------	-----------------------	------------------	-------------------

Însărcinarea 1. O rază de lumină monocromatică cu lungimea de 750 nm cade sub un unghi de 60° din aer pe o lamelă plan-paralelă transparentă. Considerați, că indicele de refracție al materialului, din care este confecționată lamela este egal cu $1,5$; indicele de refracție al aerului — 1 .

1. (1 bal) Pe care din desenele prezentate sunt indicate corect toate trei unghiuri: unghiul de incidență α , unghiul de reflexie β și unghiul de refracție γ ?

- 1;
- 2;
- 3;
- 4.



2. (2 baluri) Care este viteza de propagare a luminii în lamelă?

- $1,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; b) $2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; c) $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; d) $4,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

3. (2 baluri) Care este lungimea și frecvența unei luminoase, care se propagă prin lamelă?

4. (3 baluri) Calculați grosimea lamelei, dacă după trecerea prin ea raza de lumină se deplasează cu 10 mm .

Însărcinarea 2. Un obiect este situat la distanța de 2 m de la o lentilă convergentă cu distanța focală de $0,5 \text{ m}$.

1. (1 bal) Care este puterea optică a lentilei?

- $-0,5 \text{ dptr}$; b) $+1 \text{ dptr}$; c) $-1,5 \text{ dptr}$; d) $+2 \text{ dptr}$.

2. (2 baluri) Ce fel de imagine dă lentila?

- reală mărită; b) virtuală mărită; c) reală micșorată; d) virtuală micșorată.

3. (2 baluri) La ce distanță de la lentilă este amplasată imaginea obiectului?

Însărcinarea 3. Pentru determinarea lungimii unei luminoase a fost utilizată o rețea de difracție, perioada căreia este egală cu $0,016 \text{ mm}$.

1. (2 baluri) Care din exemplele de mai jos pot fi explicate cu ajutorul difracției luminii?

- imposibilitatea de-a vedea atomii cu microscopul;
- colorarea aripiorelor fluturilor în culorile curcubeului;
- colorarea discurilor DVD în culorile curcubeului;

2. (2 baluri) Care este cea mai mare lungime de undă care poate fi determinată cu ajutorul acestei rețele de difracție?

3. (3 baluri) Linia roșie a spectrului de ordinul doi este situată la distanța de $14,2 \text{ cm}$ de la linia medie. Distanța de la rețea până la ecran este de $1,5 \text{ m}$. Determinați lungimile undelor ale razelor roșie și violetă, dacă lățimea spectrului de ordinul doi este egală cu $6,7 \text{ cm}$.

Însărcinarea 4. Electronii, ce își iau zborul sub acțiunea luminii de pe suprafața metalului, sunt complet reținuți de câmpul de frânare la o diferență de potențial de $0,95 \text{ V}$. Lucrul de ieșire a electronilor de pe suprafața metalului — 2 eV .

1. (2 baluri) Care este energia cuantelor de lumină, ce cade pe fotocatod?

- $0,95 \text{ eV}$; b) $1,05 \text{ eV}$; c) 2 eV ; d) $2,95 \text{ eV}$.

2. (3 baluri) Determinați viteza maximă a fotoelectronilor.

Confrunțați răspunsurile voastre cu cele indicate la sfârșitul manualului. Notați însărcinările, pe care le-ați efectuat corect și calculați suma balurilor. Împărțiți această sumă la doi. Numărul obținut va corespunde nivelului atins de voi la învățătură.

CAPITOLUL IV. FIZICĂ ATOMICĂ ȘI NUCLEARĂ

§ 36. EXPERIENȚA LUI E. RUTHERFORD. POSTULATELE LUI N. BOHR. NIVELURILE ENERGETICE ALE ATOMULUI



La 30 aprilie a. 1897 la ședința Societății Regale din Londra, fizicianul englez *Joseph John Thomson* (1856–1940) a comunicat despre confirmarea experimentală a existenței particulelor subatomice, și anume a electronilor, ipoteza căreia fusese prezentată de fizicienii cu 40 de ani mai devreme. Data raportului lui Thomson este considerată «ziua de naștere» a electronului. Se poate spune că în această zi fizicienii s-au convins definitiv, că atomul are o structură complexă. Deci ce structură are atomul?

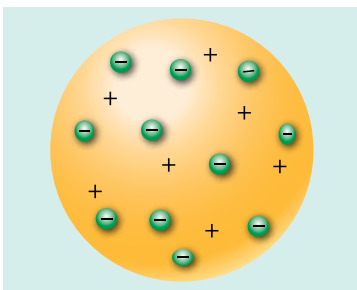


Fig. 36.1. Modelul atomului lui Thomson («budincă cu stafide»)

1 Cum a apărut modelul nuclear al atomului

Anume J. Thomson în a. 1903 a propus unul din primele modele ale atomului. El a presupus, că atomul are forma unei sfere, pe întreg volumul căreia este distribuită uniform sarcina pozitivă, iar electronii încărcăți negativ sunt presărați în interiorul sferei (fig. 36.1); sarcina sumară a electronilor este egală cu sarcina sferei, de aceea atomul este neutru din punct de vedere electric.

? Cum credeți voi, de ce modelul atomului propus de către Thomson a obținut denumirea de «budincă cu stafide»?

Progresul de mai departe în cercetările structurii interioare a atomului este legat cu numele fizicianului englez *Ernest Rutherford* (1871–1937). În experiențele, efectuate sub conducerea lui în anii 1908–1911 a fost studiată împrăștierea particulelor α de către nucleele Aurului.

Pentru experiențe savanții au folosit o substanță radioactivă α , care era amplasată într-un container din plumb cu un orificiu îngust. Fasciculul de particule α din container era direcționat pe o foiță subțire de aur, iar apoi nimerea pe un ecran, acoperit cu un strat de cristale de sulfat de zinc (fig. 36.2). Dacă într-un asemenea ecran nimerea o particulă α , atunci în locul țintirii ei avea loc o scânteiere slabă de lumină. Savanții observau scânteierile cu ajutorul unui microscop și înregistrau locurile de țintire a particulelor α în ecran.

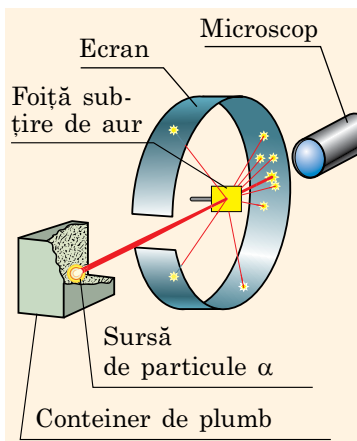


Fig. 36.2. Schema experienței de împrăștiere α particulelor (experiența lui Rutherford)

În rezultatul experiențelor s-a constatat:
 1) partea predominantă a particulelor α trece prin foia de aur, fără ași schimba direcția mișcării ei; 2) unele particule α sunt abătute de la traiectoria inițială; 3) aproximativ una din 20 000 de particule α sare de la foia, de parcă s-ar lovi de un obstacol (fig. 36.3).

Bineînțeles, că E. Rutherford nu putea vedea structura internă a atomului, de aceea el a aplicat logica.

Dacă sarcina pozitivă și masa sunt uniform distribuite pe întreg volumul atomului (așa considera J. Thomson), atunci toate particulele α trebuie să zboare prin foia fără a devia (electronii mici nu pot opri particulele α destul de grele și de rapide – nucleele atomului de Helium, care se mișcă cu viteza de 10 000 km/s).

Dacă însă sarcina pozitivă și masa sunt concentrate în interiorul atomului – într-un obiect foarte mic în comparație cu atomul, – atunci ciocnindu-se cu el, particula α încărcată poate sări înapoi, iar acele particule α , care zboară în apropierea acestui obiect se pot abate în urma respingerii electrice.

Evident, că anume a doua presupunere corespunde rezultatelor experienței. În a. 1911 după experimentele de împrăștiere a particulelor α , Rutherford a propus **modelul planetar (nuclear) al structurii atomului**: atomul este compus din nucleu încărcat pozitiv, în care este concentrată aproape întreaga masă a atomului; lângă nucleu pe anumite orbite se rotesc electronii (fig. 36.4).

Modelul planetar al atomului, explicând strălucit rezultatele experiențelor de împrăștiere a particulelor α , totodată *contrazicea legile electrodinamicii clasice*.

Chestia constă în aceea, că mișcarea pe orbită planetară este o mișcare cu accelerație (centripetă), iar conform teoriei lui J. Maxwell mișcarea accelerată a particulei încărcate trebuie să fie însoțită de radiația undelor electromagnetice. Astfel, electronul în atom trebuia să emită unde electromagnetice, și deci să piardă energie. Iar drept consecință a acestor fapte ar fi urmat micșorarea vitezei electronului și căderea lui pe nucleul atomului (fig. 36.5). Însă atomul este foarte stabil...

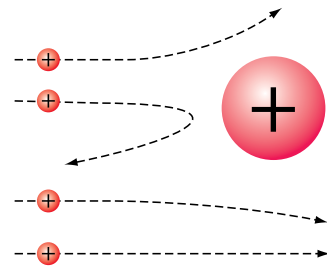


Fig. 36.3. Traiectoriile particulelor α , care zboară pe lângă nucleul de Aur

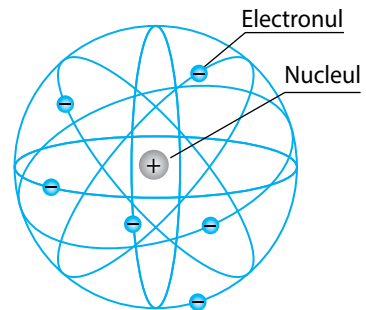


Fig. 36.4. Modelul planetar al structurii atomului, propus de către E. Rutherford. Savantul de asemenea a calculat dimensiunea nucleului: ea s-a dovedit a fi foarte mică — de ordinul 10^{-15} m, ceea ce este de 100 000 de ori mai puțin decât dimensiunea atomului (10^{-10} m).

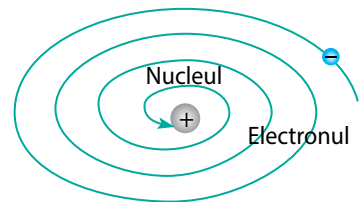


Fig. 36.5. Dacă electronul s-ar fi mișcat în jurul nucleului după o orbită planetară, atunci în conformitate cu legile fizicii clasice el ar fi trebuit peste 10^{-8} s să cadă pe nucleu, iar atomul însuși și-ar fi încetat existența sa

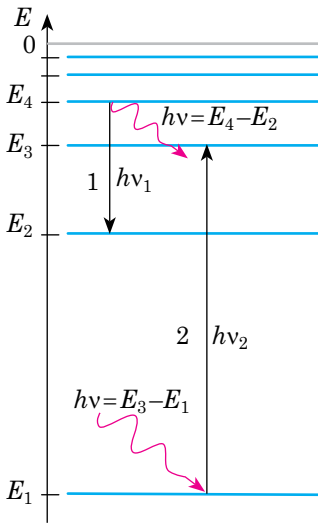


Fig. 36.6. Schema trecerilor atomului dintr-o stare energetică în alta (trecerile sunt arătate cu săgeți): în cazul trecerii pe un nivel energetic mai jos atomul emite o cantă de energie electromagnetică (trecerea 1), iar absorbind o cantă, atomul trece pe un nivel energetic mai înalt (trecerea 2)

Atrageți atenția!

- Energia oricărei stări staționare a atomului este negativă, deoarece este condiționată de interacțiunea noului electronic și nucleului atomului, care au sarcini de semne diferite.
- Energia stărilor energetice ale atomilor de obicei se exprimă în electron-volți (eV), de aceea, rezolvând problemele e mai bine de luat constanta lui Planck în electron-volți-secunde:

$$h \approx 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

2 Postulatele lui N. Bohr

O modificare a modelului planetar a fost propusă în anul 1913 de către fizicianul danez *Niels Bohr* (1885–1962), care era convins, că studierea structurii atomului ar trebui să fie efectuată din punct de vedere al reprezentărilor cuantice. Bohr a presupus existența unor stări specifice ale atomilor și a formulat două postulate. Să prezentăm postulatele lui Bohr în formularea modernă.

Primul postulat a lui N. Bohr (*despre stările staționare*):

Sistemul atomic se poate afla numai în anumite stări energetice specifice (cuantice), fiecareia dintre care îi corespunde o anumită valoare a energiei; aflându-se în starea staționară, atomul nu radiază energie.

Al doilea postulat a lui N. Bohr (*despre salturile cuantice*):

La trecerea dintr-o stare energetică staționară în alta atomul radiază sau absoarbe o cantă de energie electromagnetică:

$$h\nu = |E_k - E_m|,$$

unde $h\nu$ – energia cuantei; E_k – energia stării inițiale a atomului; E_m – energia stării, în care a trecut atomul.

Radiația cuantei de energie (fotonului) are loc în urma trecerii atomului dintr-o stare cu energia mai mare într-o stare cu energia mai mică ($E_k > E_m$); în rezultatul *absorbirii* cuantei atomul trece dintr-o stare cu energia mai mică într-o stare cu energia mai mare ($E_k < E_m$) (fig. 36.6).

? Atomul de Hidrogen a trecut din starea cu energia de $-13,6$ eV în starea cu energia de $-3,4$ eV. În acest caz atomul a absorbit sau a emis un foton?

Pentru atom cu adevărat stabilă este numai *starea staționară cu cel mai jos nivel energetic – starea fundamentală*, în care atomul se poate afla infinit de mult. Cum numai atomul va trece în starea cu un nivel mai înalt de energie, adică cum numai atomul va absorbi un foton de o anumită frecvență, acest atom va trece spontan în starea fundamentală cu emiterea fotonului de aceeași frecvență sau a câțiva fotoni de frecvențe mai mici. Anume din această cauză toate stările staționare ale atomului în afară de cea fundamentală se numesc **stări excitate**.

Atrageți atenția! Starea staționară a atomului înseamnă, că electronii lui într-un mod anumit

(determinat) sunt localizați în spațiu: la N. Bohr mergea vorba despre *orbitele electronului*, acum noi vorbim despre *orbitalii*. La trecerea cuantică a atomului dintr-o stare energetică în alta se schimbă forma norului electronic.

3 Bazele fizice ale mecanicii cuantice

Formulând postulatele sale, N. Bohr ca și E. Rutherford s-a bazat pe concepția, că electronul în interiorul atomului se comportă ca o particulă, ce se mișcă pe o anumită orbită. Și în aceasta a constat greșeala lui. Teoria cantitativă, elaborată de Bohr s-a dovedit a fi insuficientă pentru explicarea radiației atomilor compuși și radiației moleculelor, – învățatul a putut să construiască numai teoria radiației atomului de Hidrogen.

Chestia constă în aceea, că comportarea electronului în interiorul atomului mai degrabă amintește o undă. «Doar electronul – o particulă», – veți spune voi și veți avea dreptate, doar electronul, ca și lumina în același timp are proprietățile undei și particulei.

În anul 1924 fizicianul francez *Louis de Broglie* (1892–1987) a lansat ipoteza, conform căreia dualismul *undă-corpusul este caracteristic nu numai pentru fotoni, dar și pentru orice alte microparticule.*

Dualismul undă-corpusul – proprietatea universală a obiectelor materiale, care constă în aceea, că în comportarea unui obiect se pot manifesta trăsături și corpusculare, și ondulatorii.

Concepția despre dualismul undă-corpusul a particulelor stă la baza *mecanicii cuantice*, care este una din direcțiile principale ale fizicii actuale.

Conform lui Louis de Broglie, formulele pentru calcularea energiei ($E = h\nu$) și impulsului ($p = \frac{h}{\lambda}$) trebuie considerate *universale* – astfel că sunt veridice atât pentru foton, cât și pentru alte particule arbitrare.

Fiecărei particule mobile îi corespunde o anumită undă – **unda lui de Broglie**, lungimea căreia se determină prin formula: $\lambda = \frac{h}{p}$.

Lungimea undei de Broglie pentru toate particulele se dovedește a fi foarte mică. De exemplu, pentru electronii, accelerați până la viteza de $7,3 \cdot 10^6$ m/s, ea este egală cu $1 \cdot 10^{-10}$ m (dimensiunea atomului), iar pentru neutronii, care zboară din nucleul Uraniului cu viteza de $4 \cdot 10^6$ m/s în timpul dezintegrării lui – de numai $1 \cdot 10^{-13}$ m.

Totodată la ora actuală s-a descoperit pe cale experimentală că au proprietăți ondulatorii nu numai electronii și alte particule elementare (fig. 36.7), dar și atomii, și moleculele.

**Unde sau
particule?
Nici unde, și nici
particule!**



«Substanța și lumina au în același timp proprietățile undelor și a particulelor, însă în întregime aceasta nu sunt unde, și nici particule, și nici un amestec de una sau alta. Noțiunile mecanice ale noastre nu sunt capabile să cuprindă în întregime realitatea, pentru aceasta nu sunt suficiente modelele reale».

Sergei Vavilov
(1891–1951) fizician sovietic, fondatorul școlii de optică fizică

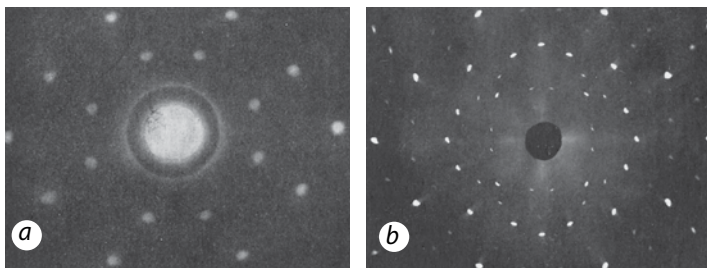


Fig. 36.7. Difracția neutronilor (a) și a razelor Röntgen (b) pe monocristalul de NaCl, care exercită funcția rețelei de difracție

Mecanica cuantică, spre deosebire de cea clasică, utilizează altă metodă de descriere a stării sistemului. În orice problemă a mecanicii clasice punctul material (sau corpul) are coordonate determinate, care caracterizează poziția lui în spațiu, și viteză (sau impuls) determinată. În mecanica cuantică și coordonata, și impulsul în același timp sunt determinați numai cu o anumită precizie (Δx – nedeterminarea coordonatei; Δp – nedeterminarea impulsului), adică se poate afla numai probabilitatea descoperirii obiectului într-o anumită porțiune a spațiului, probabilitatea existenței la obiect a unui anumit impuls.



Facem totalurile

- Cercetările, efectuate de fizicieni în sec. XIX au demonstrat structura atomară a substanței și au confirmat, că atomul are o structură compusă.
- Experiențele realizate sub conducerea lui E. Rutherford au permis crearea modelului planetar al atomului.
- O dezvoltare de mai departe a modelului planetar au devenit postulatele lui Bohr, conform cărora atomii se pot afla numai în anumite stări staționare. În stare staționară atomul nu emite unde electromagnetice. Emiterea/absorbirea undelor electromagnetice (de frecvență strict determinată) are loc numai în timpul tranzițiilor atomului dintr-o stare staționară în alta.
- Dualismul undă-corpusul – proprietatea universală a obiectelor materiale. Proprietățile ondulatorii ale obiectului material, care are impulsul p , sunt caracterizate de către lungimea de undă a lui de Broglie: $\lambda = \frac{h}{p}$.



Întrebări pentru control

1. Descrieți modelul atomului lui J. Thomson.
2. Descrieți experiența sub conducerea lui E. Rutherford de împrăștierea a particulelor α de către atomii Aurului.
3. În ce constă divergența dintre modelele atomilor propuse de J. Thomson și E. Rutherford?
4. În ce constă imperfecțiunea modelului planetar al atomului?
5. Formulați postulatele lui N. Bohr.
6. În ce constă esența dualismului undă-corpusul?



Exercițiul nr. 36

1. Pe schema nivelurilor energetice ale unui oarecare atom (fig. 1) sunt reprezentate tranzițiile acestui atom dintr-o stare energetică în alta. În timpul căror tranziții atomul emite un foton? absoarbe un foton?
2. În timpul căreia tranziții a atomului (vezi fig. 1) frecvența atomului emis sau absorbit de el este maximă? În timpul căreia tranziții este maximă lungimea de undă?

- În timpul tranziției atomilor de Mercur în starea fundamentală sunt emiși fotoni cu energia de 4,5 eV. Care este lungimea unei radiate?
- Pe schema nivelurilor energetice ale unui atom oarecare (fig. 2) sunt reprezentate trecerile acestui atom dintr-o stare energetică în alta. Determinați, foton de ce energie va absorbi atomul, dacă va trece: a) din starea E_1 în starea E_2 ; b) din starea E_1 în starea E_4 . Se știe, că $\nu_{13} = 6 \cdot 10^{14}$ Hz, $\nu_{24} = 4 \cdot 10^{14}$ Hz, $\nu_{32} = 3 \cdot 10^{14}$ Hz.
- În Marele Colaidor Andronic protonii ating viteza, care este numai cu 3 m/s mai mică decât viteza de propagare a luminii în vid. Determinați lungimea unei lui de Broglie pentru acești protoni. Masa protonului este de $1,7 \cdot 10^{-27}$ kg.
- Aflați, de ce pe desenul de la începutul paragrafului este reprezentat tubul Crookes.

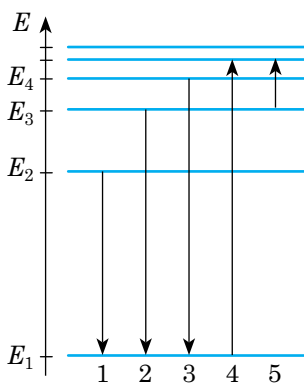


Fig. 1

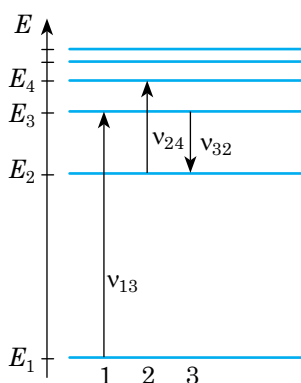


Fig. 2

§ 37. TIPURI DE SPECTRE. BAZELE ANALIZEI SPECTRALE



«Două lucruri ne umple sufletul cu uimire și venerație cu atât mai nouă și mai puternică, cu cât mai des și mai îndelungat noi ne gândim la ele — acesta este cerul înstelat deasupra mea și legea morală în mine», — scria filosoful german *Immanuel Kant* (1724–1804). Cu toate acestea, lumina pe care o radiază stelele — acesta nu este doar o minunăție frumoasă: ea ne aduce informație despre temperatura și compoziția stelelor, despre mișcarea lor și procesele care apar în ele. Trebuie doar să ne învățăm a citi această informație. Vom afla, ce cunoștințe despre structura atomului au ajutat să «ajungem» până la stele.

1 Spectrele de linii de radiație și de absorbție

Dacă am arunca un pic de sare de bucătărie în flacăra unui arzător de gaz, ea se va colora în culoare galbenă. Pricina acestui fenomen vă este deja cunoscută din cursul de chimie: în componența sării de bucătărie intră sodiul, și anume atomii acestui element condiționează radiația galbenă caracteristică. Să ne descurcăm în mecanismul apariției acestei radiații.

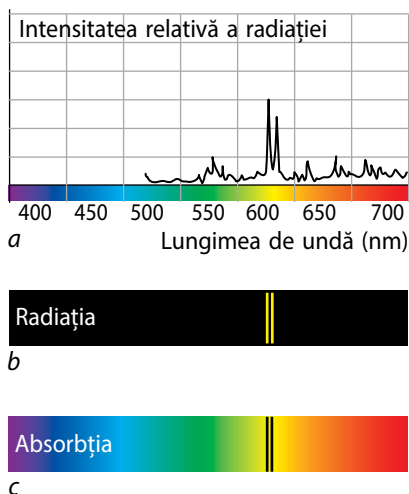
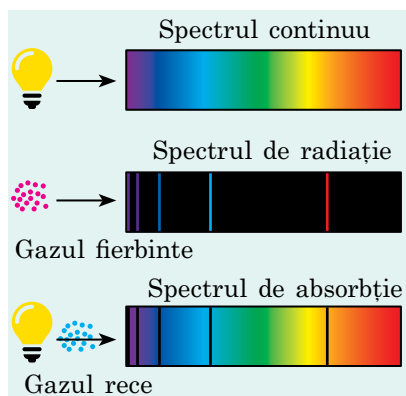


Fig. 37.1. Spectrul de linii al Sodiului: *a* — dependența intensității relative a radiației flăcării, *b* — care conține atomi de Sodiu; de lungimea de undă; *spectrul de radiație* (linia galbenă dublă pe fondul întunecat); *c* — spectrul de absorbție (linia întunecată dublă pe fondul spectrului continuu)



Atrageți atenția!

Gazul cel mai intens absoarbe lumina anume de acele lungimi, pe care el le emite în stare încălzită, de aceea *liniile întunecate ale spectrului de absorbție sunt situate exact în acele locuri, unde se observă liniile luminoase ale spectrului de emisie.*

În flacăra arzătorului sodiul se încălzește și atomii de Sodiu trec în stare excitată. Revenind în starea fundamentală, atomii *radiază unde electromagnetice*, totodată conform postulatelor lui Bohr — *de frecvențe strict determinate, și deci și de lungimi*. Pentru Sodiu cea mai mare intensitate a radiației îi revine lungimii de undă, care corespunde luminii de culoare galbenă (fig. 37.1, *a*).

Numeroase cercetări au demonstrat, că în urma încălzirii până la o temperatură înaltă, atomii oricărui element chimic pot emite lumină, fasciculul îngust al căreia este descompus de prismă în câteva fascicule. Dacă gazul este rarefiat și se află în stare atomară (nu moleculară), atunci pe ecranul spectrografului se observă *linii colorate, separate cu fâșii întunecate*. Totalitatea acestor linii se numește **spectru de linii de emisie** (fig. 37.1, *b*).

Există și fenomenul invers: dacă lumina albă este trecută printr-o substanță în stare gazoasă, atunci se observă *liniile întunecate pe fondul spectrului continuu*. Totalitatea acestor linii se numește **spectru de linii de absorbție** (fig. 37.1, *c*).

Vom menționa, că *spectrul de linii al oricărui element chimic concret nu coincide cu spectrul de linii al oricăror altor elemente chimice*, și deci este așa numita «carte de vizită» a elementului.

Spectre de linii dau numai gazele rarefiate în stare atomară: urmărind prin prismă iluminarea descărcării în gaze a tubului de descărcare se poate vedea spectrul de linii de radiație, caracteristic pentru gazul, cu care este umplut tubul.

Dacă se va mări densitatea gazului, atunci liniile spectrale treptat se lărgesc și când *interacțiunea intermoleculară dintre particulele* (atomii, moleculele, ionii) *gazului devine esențială*, liniile se îmbină, formând **spectrul continuu**. Anume din această cauză *gazele comprimate, lichidele și corpurile solide în stare încălzită dau spectrul continuu de emisie.*



Ce fel de spectru voi vedea, privind prin spectrometru la filamentul de incandescență al becului? la Soare? la descărcarea în gaze în tubul cu neon?

2 Spectrele moleculare

Spectrele gazelor moleculare se deosebesc de spectrele atomare și au aspectul *unui sistem de benzi și de linii situate foarte aproape una de alta*. Așa un spectru se numește **spectru de bandă** (fig. 37.2).

O astfel de imagine spectrală se explică prin aceea, că la excitarea moleculei au loc atât tranzițiile energetice în atomi (atomii trec în starea cu un nivel energetic mai mare), cât și excitarea oscilațiilor atomilor în interiorul moleculei și rotația moleculei. Energia mișcării oscilatorii a atomilor în interiorul moleculei și energia mișcării orbitale a moleculei tot este subordonată legilor fizicii cuantice și au o serie de valori discrete. Așadar, un nivel energetic se divizează într-o mulțime de subnivele oscilatorii. Cantitatea de tranziții posibile (reveniri în starea fundamentală) se mărește spontan, și condiționează apariția unei cantități colosale de linii spectrale, care se contopesc în benzi late.

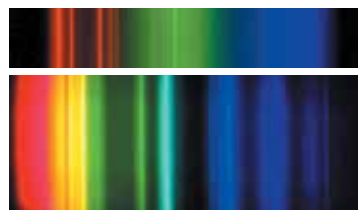


Fig. 37.2. Spectrele de bandă sunt compuse dintr-o serie de fâșii, separate cu intervale întinse

3 Bazele analizei spectrale

Deja s-a menționat, că studierea spectrelor de linii de emisie și de absorbție a gazelor monoatomice permit de a identifica compoziția acestor gaze, doar fiecare gaz în stare atomică dă propria serie de linii spectrale (propria serie determinată de lungimi de undă). Aceste linii sunt întotdeauna situate în aceleași locuri ale spectrului, independent de metoda de excitare a atomilor. Astăzi sunt determinate spectrele tuturor atomilor și sunt compuse tabelele spectrelor.

După intensitatea radiației se poate determina concentrația anumitor elemente în gazul rarefiat dat: cu atât mai mulți atomi ai acestui element chimic sunt în amestecul de gaze, cu atât mai pronunțate sunt liniile corespunzătoare în spectrul de emisie sau mai întinse – în spectrul de absorbție.

Metoda determinării calitative și cantitative a compoziției substanței după spectrul ei se numește **analiză spectrală**.

Multe elemente au fost descoperite prin metoda analizei spectrale. Primul dintre aceste elemente a fost Cesiul (de la latin. *caesius* – albastru) – unul dintre cele mai rare elemente de pe Pământ. Cesiul a obținut denumirea datorită a două linii albastre pronunțate în spectrul de emisie.

Analiza spectrală – metoda de bază pentru studierea obiectelor astronomice. Anume cu ajutorul ei astrofizicienii au aflat despre compoziția chimică a stelelor, norilor de gaz și a altor obiecte astronomice.

Datorită universalității și a preciziei extreme (analiza spectrală permite ca elementul să fie detectat într-un amestec sau compus chiar dacă masa acestuia nu depășește 10^{-10} g), metoda analizei spectrale este utilizată pe scară largă în chimie, metalurgie, fizică nucleară.

Trebuie de remarcat faptul, că analiza spectrală a gazelor moleculare este efectuată după spectrele lor moleculare, dar iată compoziția unei substanțe care este în stare solidă sau lichidă prin analiză spectrală este imposibil să se determine – mai întâi ea trebuie să fie transformată în stare gazoasă.

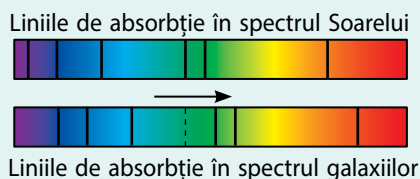
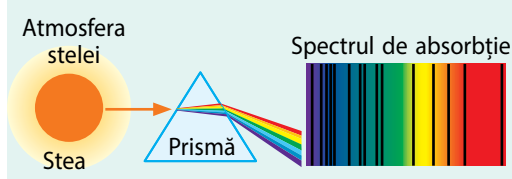
De unde noi cunoaștem proprietățile stelelor îndepărtate

Încă în a. 1802, medicul și chimistul englez *William Hyde Wollaston* (1766–1828), privind în spectroscop la Soare, a observat câteva linii întunecate, care intersectau banda colorată în culorile curcubeului. El nu a acordat însemnătate la aceasta, considerând liniile ca un defect al prisme. Dar după 17 ani fizicianul german *Joseph Fraunhofer* (1787–1826) s-a convins, că cauza apariției liniilor întunecate se ascunde chiar în Soare. «A apropiat stelele» – aceasta este scris pe mormântul lui J. Fraunhofer, iar spectrul de absorbție al Soarelui și acum este numit *liniile lui Fraunhofer*.

• **Liniile de absorbție în spectrele stelelor ne permit să aflăm despre compoziția lor chimică, temperatura, presiunea, viteza etc.**

• După M. Planck, o dată cu creșterea temperaturii stelelor, maximul puterii radiației ei se deplasează spre culoarea violetă, de aceea, comparând puterile luminii de diferite culori, se poate *măsura temperatura suprafeței stelei*.

• A măsura viteza de mișcare a stelelor, distanța până la ele și de asemenea a descoperi exoplanetele ne ajută *efectul Doppler*. El constă în aceea, ca pentru observator, lungimea de undă a unei surse în mișcare variază: dacă sursa se apropie, ea se micșorează, dacă se îndepărtează – se mărește. Sa constatat, că liniile spectrelor galaxiilor îndepărtate sunt deplasate spre partea roșie a spectrului (**deplasarea roșie**), adică aceste galaxii se îndepărtează de noi cu o viteză colosală.



Facem totalurile

• Cercetările fizicienilor în sec. XIX au demonstrat structura atomică a substanței și au confirmat, că atomul are o structură compusă.

• Atomii substanțelor gazoase în stare atomică odată cu mărirea temperaturii emit unde electromagnetice de frecvențe strict determinate – lor le este propriu spectrul de linii de emisie. Spectrul de linii al fiecărui element se caracterizează cu o garnitură de frecvențe individuală pentru acest element.

• Dacă gazul este iluminat cu lumină albă, atunci pe spectrul continuu se observă benzi negre nemijlocit pe acele frecvențe, pe care are loc emisia elementului dat. Acestea – spectrele de linii de absorbție.

• Spectrele de emisie ale gazelor în stare moleculară se deosebesc de spectrele analoage ale gazelor atomare prin existența unei cantități mari de linii așezate aproape una de alta, care în timpul observărilor se contopesc deseori în benzi (spectrul de bandă).

• Studiarea spectrelor de emisie ne permite să obținem informație despre compoziția elementală a substanței; studiarea spectrelor de absorbție ale stelelor și ale altor obiecte astronomice ne permite să aflăm despre compoziția lor chimică, temperatură, presiune, viteză și alți parametri importanți.



Întrebări pentru control

1. De ce atomii emit lumină? 2. Ce este comun și prin ce se deosebesc spectrele de linii de emisie și de absorbție? 3. De ce fiecărui element chimic îi este caracteristic propriul spectru de linii? 4. Care substanțe și în ce stare emit un spectru de linii? spectru de bandă? spectru continuu? 5. Numiți trăsăturile principale ale spectrelor de emisie ale moleculelor. 6. Unde este aplicată analiza spectrală? 7. Dați exemple de utilizare a analizei spectrale în astronomie.



Exercițiul nr. 37

1. Ce fel este spectrul hidrogenului atomic rarefiat? hidrogenului molecular? Ce fel este spectrul hidrogenului puternic comprimat?
2. În fig. 1 sunt prezentate liniile spectrului de absorbție a Hidrogenului (*a*) și a două amestecuri de gaze (*b*, *c*). În care amestec există Hidrogen?
3. În fig. 2 sunt prezentate liniile spectrului de absorbție a două gaze (*a*, *b*) și a unui amestec de gaze (*b*, *c*). Oare există în amestec gazele *a*, *b*?

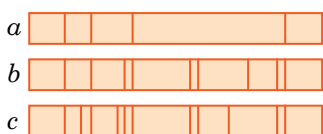


Fig. 1

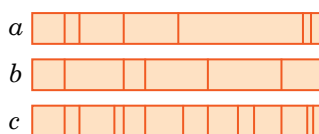


Fig. 2

4. De ce în timpul analizei spectrale a compușilor moleculari se utilizează radiația caracteristică, dar nu cea de frânare Röntgen?
5. Heliul în traducere din greacă – «soare», doar pentru prima dată el a fost descoperit pe Soare cu ajutorul analizei spectrale. Aflați, care elemente au mai fost descoperite cu ajutorul analizei spectrale.

§ 38. GENERATOARELE OPTICO-CUANTICE (LASERII)



La sfârșitul anilor 50 — la începutul anilor 60 ai sec. al XX-lea. specialiștii în fizica cuantică au realizat o serie de descoperiri, care au schimbat ulterior semnificativ viața omenirii. Un loc demn printre aceste descoperiri îi ocupă invenția *generatoarelor cuantice*. Ce este ascuns sub această denumire, care parcă ar fi coborât din paginile unor romane științifico-fantastice?

1 Emisia spontană și forțată

Dacă atomul printr-o metodă oarecare este trecut în stare excitată, atunci revenind în starea fundamentală el emite o cuantă de lumină. Metoda «standard» de excitare a radiației luminoase este ciocnirea atomilor la temperaturi înalte, însă există și alte metode (netermice) de excitare ale atomilor. Atomii substanței pot trece în stare excitată în timpul reacțiilor chimice, în urma prelucrării substanței cu sunet de frecvență înaltă, iradierii cu raze Röntgen și γ , în urma frecării, despicării etc.

Luminiscenta și luminoforii

Fenomenul licăririi netermice a substanței, care are loc după absorbirea de către ea a energiei de excitare se numește **luminiscentă**, iar substanțele, care sunt capabile să transforme energia netermică absorbită în radiație luminoasă – **luminofore**.



Exemplu de utilizare a luminiscentei sunt așa-numitele lămpi lumina zilei. Aceste lămpi prezintă în sine tuburi, umplute cu vapori de mercur la presiune joasă. Suprafața interioară a tuburilor este acoperită cu luminofori. Radiația ultravioletă, care se creează în urma descărcării în gaz în vaporii de mercur, nimereste pe luminofor și el începe să emită lumină, apropiată de lumina zilei. Unii luminofori sunt utilizați ca indicatori de radiație.

Luminoforii organici – *luminogenii* – sunt utilizați pentru confecționarea vopselelor fluorescente pregnante, materialelor luminiscente, de exemplu a materialelor pentru semnele de circulație rutieră ș.a.

Durata vieții atomului în stare excitată de regulă este foarte scurtă și constituie 10^{-9} – 10^{-10} s, după ce atomul «de sine stătător» (spontan) revine în starea fundamentală cu emiterea fotonilor (sau fotonului) de frecvențe strict determinate.

Emisia, ce apare în urma trecerii spontane ale atomilor într-o stare cu un nivel energetic mai mic se numește **emisie spontană**.

Emisia spontană nu este coerentă, deoarece fiecare atom începe și termină să emită independent unul de celălalt. Însă în unele cazuri trecerea atomului din stare excitată în stare fundamentală poate avea loc forțat.

Emisia, care apare sub influența undei electromagnetice exterioare se numește **emisie indusă (forțată)**.

Este natural, că emisia indusă este inițiată nu de orice undă electromagnetică, dar numai de acea undă, frecvența căreia este egală cu *frecvența proprie a tranziției*.

Frecvența proprie a tranziției — frecvența fotonului, în urma absorbției căruia atomul trece din starea staționară în starea excitată.

Deja a fost menționat, că atomul se află în stare excitată un timp foarte scurt. Însă există substanțe, atomii cărora au stări excitate, în care ei se pot afla în decursul unui timp îndelungat, de ordinul 10^{-3} s. Astfel de stări excitate se numesc **metastabile**. Emisia indusă a unor astfel de atomi a cauzat apariția unui tip principal nou de generatoare – a **generatoarelor cuantice**. *Particularitățile emisiei induse sunt monocromaticitatea și coerența ei*.

❓ Amintiți-vă, care radiație se numește monocromatică? coerentă?

2 Cum funcționează generatorul cuantic

Însuși denumirea de «generatorul cuantic» trebuie să însemne că acest aparat «produce» cuante de radiație electromagnetică. Dar, dacă ne vom lăsa conduși de așa o logică, atunci lampa obișnuită de incandescență de asemenea este generator cuantic, însă aceasta nu e așa.

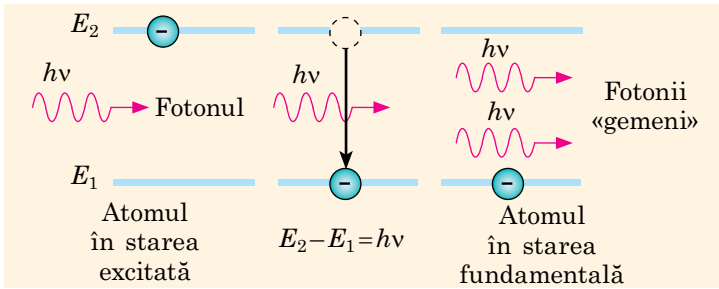


Fig. 38.1. Schema emisiei induse

Generatorul cuantic – aceasta-i sursa de unde electromagnetice, acțiunea căreia se bazează pe fenomenul emisie induse.

Primul generator cuantic a fost creat în anul 1954 de către două grupuri de radiofizicieni independente unul de altul – de către fizicienii sovietici *Nicolai Ghenadievici Basov* (1922–2001), *Alexandr Mihailovici Prohorov* (1916–2002) și grupul de învățați americani sub conducerea lui *Charles Hard Townes* (1915–2015). Generatorul cuantic descoperit emitea unde electromagnetice din domeniul radio.

În a. 1960 au fost creați primii **laseri** – *generatoare cuantice*, care funcționează în domeniul optic. Principiul de lucru al laserilor este următorul. Dacă pe un atom excitat cade un foton, energia căruia este egală cu energia de excitare, atunci interacțiunea acestui foton cu atomul excitat provoacă revenirea atomului în starea fundamentală cu emiterea unui foton secundar. Direcția mișcării și energia fotonului secundar sunt aceleași ca și la fotonul, care a cauzat emisia, adică apar doi fotoni-«gemeni» (fig. 38.1). Dacă însă în substanță vor fi mulți atomi excitați, atunci fiecare dintre fotoni-«gemeni» va cauza apariția a doi noi «gemeni» ș.a.m.d. În final va apărea o «avalanșă» de fotoni cu aceleași caracteristici.

Să cercetăm cum are loc amplificarea și generarea radiației electromagnetice în laserii cu rubin. În asemenea lasere mediul activ este un cristal de rubin. Rubinul – aceasta-i cristal din oxid de aluminiu (Al_2O_3), în care o cantitate mică de atomi de Aluminiu (~0,05 %) este înlocuită cu atomi de Crom (atomii de Crom au o stare metastabilă). Cristalului i se acordă forma de cilindru (fig. 38.2), pe două capete ale căruia se depune un strat reflectant (oglină). Una din suprafețele de oglindă reflectă complet lumina, a doua este parțial transparentă: 92 % din fluxul de lumină se reflectă de la ea, iar aproape 8 % este lăsat să treacă. Tija din rubin este așezată în interiorul unei lămpi spiralete de impulsuri, care este sursă de radiație emisă. În timpul licăririi lămpii atomii de Crom, absorbind radiație de o anumită frecvență, trec din starea fundamentală cu energia E_1 în stările excitate cu energiile E_3 , E_4 (fig. 38.3).

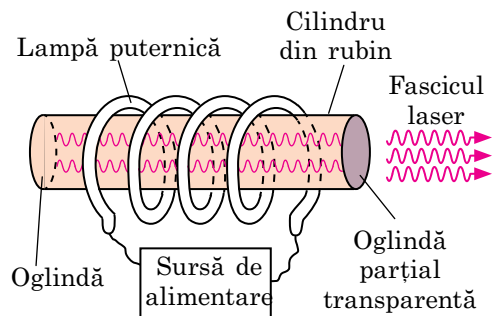


Fig. 38.2. Construcția schematică a laserului cu rubin

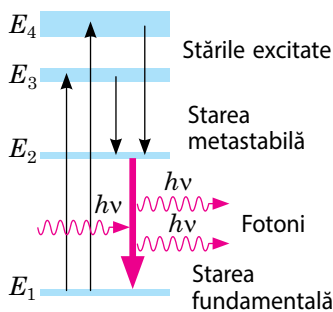


Fig. 38.3. Schema tranzițiilor atomilor de Crom în stările excitată, metastabilă și fundamentală

Diverse tipuri

de generatoare cuantice

Generatoarele cuantice au denumiri diferite în dependență de aceea, ce lungime de undă emite generatorul și toate aceste denumiri provin de la abreviatul imbinării de cuvinte engleze *amplification by stimulated emission of radiation* (amplificare pe calea radiației stimulate).

- Primul generator cuantic a fost **maserul** – dispozitiv, care emitea unde electromagnetice coerente în radiodomeniul milimetric (engl. *microwave* – cu microunde).
- Generatoarele cuantice de alt tip – **laserii** – funcționează în domeniul optic al scării undelor electromagnetice (engl. *light* – lumină).
- **Raserul** – generatorul cuantic, care emite raze Röntgen.
- **Gaserul** – generatorul cuantic, care ...

? Sperăm, că nu vă va fi greu să răspundeți, în ce domeniu al scării undelor electromagnetice funcționează gaserale.

Procesul trecerii atomilor din starea fundamentală în stare excitată se numește **pompăre**, iar lampa care este folosită pentru aceasta — **lampă de pompăre**.

Durata de viață a atomilor de Crom în stare excitată (pe nivelurile cu energiile E_3 , E_4) este mică, și de aceea practic momentan cea mai mare parte a atomilor trec în starea metastabilă cu energia E_2 (fig. 38.3).

Este suficient ca un atom de Crom să efectueze trecerea spontană din starea metastabilă în cea fundamentală cu emiterea unui foton, cum apare avalanșa de fotoni, provocată de radiația indusă a atomilor de Crom, care se află în starea metastabilă. Dacă direcția de mișcare a fotonului primar este strict perpendiculară pe capetele cilindrului de rubin (dar astfel de fotoni sunt întotdeauna), atunci fotonii primari și secundari se reflectă de la unul din capete și zboară prin cristal până la cel de-al doilea capăt. În calea lor fotonii provoacă radiații forțate în alți atomi de Crom ș.a.m.d. procesul încetează peste 10^{-8} – 10^{-10} s. Puterea radiației luminoase a laserului poate atinge 10^9 W, ce depășește puterea centralelor electrice.

3 Unde sunt aplicații laserii

Generatoarele cuantice contemporane sunt destul de diverse: ele funcționează în diferite domenii de lungimi de undă (maserii, laserii, raserii, gaserii), au substanță activă diferită (solide, gazoase, semiconductoare, lichide). Noi nu vom cerceta ramurile utilizării tuturor tipurilor de generatoare laser, ne vom opri asupra **laserilor** — *generatoarelor cuantice, care funcționează în domeniul optic*.

Ca surse de lumină coerentă monocromatică laserii și-au găsit aplicația sa în cercetările științifice.

Fasciculele laser se utilizează în cosmetologie și medicină, în special în chirurgie, oftalmologie (fig. 38.4). În timpul operațiilor efectuate cu ajutorul unui «bisturiu cu laser», marginile rănilor nu sângerează și posibilitatea «sudării» cu laserul a retinei stratificate de fundul ochiului a salvat mulți oameni de orbire.

Laserii puternici, în particular cei infraroșii pe dioxidul de carbon, sunt utilizați pentru *prelucrarea materialelor* (tăierea, sudarea, sfredelirea) — cu ajutorul fascicului laser focalizat.

Doar cu ajutorul laserilor a fost posibilă realizarea unei noi metode de obținere a imaginilor obiectelor tridimensionale — *holografia*.

Transmițând fasciculele laser cu ajutorul unui cablu cu fibră optică se realizează *comunicațiile telefonice și de televiziune*. Frecvența-portantă înaltă ($\sim 10^{13}$ – 10^{14} Hz) permite de-a transmite pe un conductor optic până la un milion de emisiuni muzicale și de televiziune.

Cu ajutorul emisiei laser se determină distanța până la obiectele mobile și viteza mișcării lor. *Locația laser* este mai precisă decât radiolocația: undele luminoase sunt mult mai scurte decât undele radio, de aceea fasciculele laser mai puțin se extind și aproape că nu ocolesc obstacolele.



Facem totalurile

- Atomul emite lumină în timpul trecerii dintr-o stare energetică în alta.
- Dacă atomul excitat trece spontan într-o stare cu un nivel energetic mai mic, așa o emisie se numește spontană. Emisia spontană este necoerentă și policromatică.
- Emisia, care apare sub influența undei electromagnetice exterioare se numește indusă (forțată). Așa o radiație este coerentă și monocromatică.
- Sursele de radiație electromagnetică coerentă monocromatică se numesc generatoare cuantice. Generatoarele cuantice, care funcționează în domeniul optic de lungimi de undă se numesc laseri. Laserii sunt utilizați în medicină, pentru transmiterea informației, etc.



Fig. 38.4. Utilizarea laserilor în medicină: *a* — tratarea pielii; *b* — bisturiu cu laser; *c* — corecția vederii cu laser



Întrebări pentru control

1. Care emisie se numește spontană? indusă (forțată)? Numiți proprietățile lor.
2. Ce proprietate trebuie să aibă atomii substanței active în generatorul cuantic optic?
3. Cum este construit laserul?
4. Explicați, cum funcționează laserul.
5. Dați exemple de utilizare a laserilor?



Exercițiul nr. 38

1. Dați exemple de luminiscentă în natură.
2. De ce becul obișnuit nu poate fi considerat generator cuantic?
3. Nivelul energetic maxim atomii laserului cu rubin îl atinge în cazul absorbirii undei cu lungimea de 560 nm, totodată laserul emite unde cu lungimea de 694 nm. Ce energie emite atomul în timpul trecerii din starea cu cel mai mare nivel energetic în starea metastabilă?

- Arătătorul laser — aceasta-i un generator optico-cuantic portativ. Câți fotoni pe secundă emite așa un generator, dacă el funcționează pe lungimea de undă de 532 nm, iar puterea radiației lui constituie 5 mW? Lumină de ce culoare emite acest arătător laser?
- Alegeți o anumită ramură de utilizare a laserilor și pregătiți scurte rapoarte despre dezvoltarea și perspectivele dezvoltării acestei ramuri.
- Unul dintre grupurile de cercetători, care se ocupă de studierea laserilor și elaborează sisteme laser de intensitate înaltă este condus de canadiana *Donna Strickland* (s-a nasc. în a. 1959), laureată a Premiului Nobel pentru Fizică (a. 2018). Aflați, pentru ce ea a primit acest premiul de onoare.



Însărcinare experimentală

Pregătiți o serie de experimente interesante de utilizare a arătătorului laser. Metoda de efectuare a experimentelor o puteți inventa însuși sau să căutați informația necesară pe Internet.



Fizica în cifre

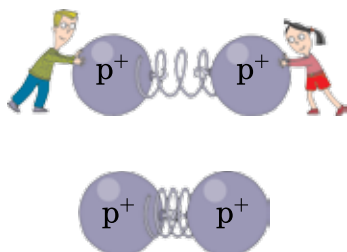
Ce arătător laser să alegem

Există diferite lasere. La aceeași putere, laserele verzi sunt percepute de ochiul uman mai strălucitoare decât cele roșii, de 4–15 ori, decât cele albastru-violete – de 20 de ori, decât cele violete – de 190 de ori.

Chiar și laserele de putere mică pot fi periculoase pentru vedere. Fiecare dispozitiv are informații despre clasa lui de pericol. În tabel este reprezentată informația despre aceea, de ce putere trebuie de folosit laserii verzi în condiții diferite.

Evenimentul	Puterea laserului verde, mW
Prezentarea într-o încăpere închisă	5
«Excursia» pe cerul înstelat în afara orașului	5
«Excursia» pe cerul înstelat în oraș	20–50
Excursia legată de prezentarea monumentelor de arhitectură	50–100 (zi înnorată); 200–300 (zi însorită)

§ 39. MODELUL PROTONO-NEUTRONIC AL NUCLEULUI ATOMULUI. FORȚELE NUCLEARE. ENERGIA DE LEGĂTURĂ



Imaginați-vă primele zile de primăvară caldă și pauza mare la școală. Abia a sunat clopoțelul — și elevii din clasa întâi într-o clipă s-au împrăștiat prin curtea școlii. Se pare, că nu există o forță care să le țină împreună. La prima vedere, protonii în nucleu ar trebui să se comporte asemănător cu acești elevi — să se «împrăștie» în diferite părți sub acțiunea forțelor electrostatice de respingere, și însuși nucleul trebuie să se distrugă momentan. Dar aceasta nu se întâmplă! Este logic să presupunem, că există și alte forțe, care țin împreună protonii. Ce fel de forțe sunt acestea?

1 Amintim structura nucleului atomului

Nucleul atomului este compus din particule de două feluri: **protoni**, care au sarcină electrică pozitivă, și **neutroni**, care nu au sarcină. Masa protonului este aproximativ egală cu masa neutronului și este de 1800 de ori mai mare decât masa electronului.

Protonii și neutronii, ce intră în componența nucleului atomului se numesc **nucleoni** (de la latin. *nucleus* — nucleu).

Cantitatea sumară de nucleoni din atom se numește **număr de nucleoni (de masă)** și se notează cu simbolul A .

Atomul este neutru din punct de vedere electric: în atomul neutru sarcina sumară a protonilor în nucleu este egală cu sarcina sumară a electronilor. Sarcina protonului după modul este egală cu sarcina electronului (sarcina elementară $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C), de aceea în atomul neutru *cantitatea de protoni este egală cu cantitatea de electroni*.

Cantitatea de protoni din nucleu este numită **număr de sarcină (protonic)** și este notat cu simbolul Z . Numărul de ordine al elementului în tabelul periodic al elementelor chimice a lui D. I. Mendeleev corespunde cantității de protoni în nucleu, adică numărului de sarcină.

Cunoscând numerele de sarcină (Z) și de masă (A) ale nucleului atomului se poate determina cantitatea de neutroni (N) din acest nucleu: $N = A - Z$.

Specia de atomi, care este caracterizată de o anumită valoare a numărului de sarcină și o anumită valoare a numărului de masă se numește **nuclid** (fig. 39.1).

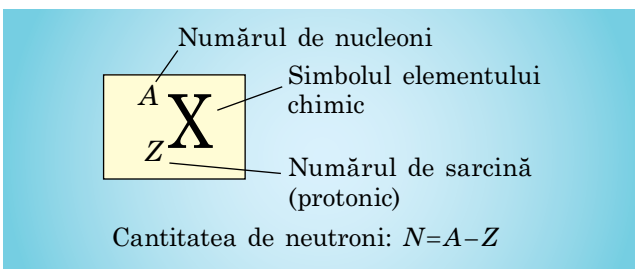


Fig. 39.1. Notarea nuclidului elementului chimic

Istoria descoperirii nucleului atomului

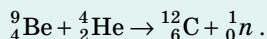
Anul 1911. Fizicianul englez *Ernest Rutherford* (1871–1937) în experiența de împrăștiere a particulelor α de către nucleele Aurului, a descoperit nucleul atomului.

Anul 1913. Fizicianul englez *Henry Mosley* (1887–1915) a măsurat sarcinile electrice ale nucleelor atomilor.

Anul 1919. *E. Rutherford*, bombardând azotul cu particule α , a descoperit **protonul** 1_1p – nucleul atomului de Hidrogen.

Anul 1920. *E. Rutherford*, iradiând o serie de elemente cu particulele α , a descoperit că din nucleele lor particulele α , de asemenea, smulg protoni. Învățatul a ajuns la concluzia, că nucleele atomilor tuturor elementelor conțin protoni și a presupus posibilitatea existenței în nucleul atomului a unei particule neutre cu o masă aproximativ egală cu masa protonului.

Anul 1932. Fizicianul englez *James Chadwick* (1891–1974) în timpul experiențelor de bombardare a beriliului cu particule α a descoperit neutronul: 1_0n :



Anul 1932. Fizicianul sovietic *Dmitrii Dmitrovici Ivanenco* (1904–1994) și fizicianul german *Werner Karl Heisenberg* (1901–1976) au lansat o ipoteză privind structura protono-neutronică a nucleului. (D. D. Ivanenco s-a născut la Poltava, a lucrat la Harchiv, Kiev, Leningrad (actual Sankt-Petersburg), Moscova.)

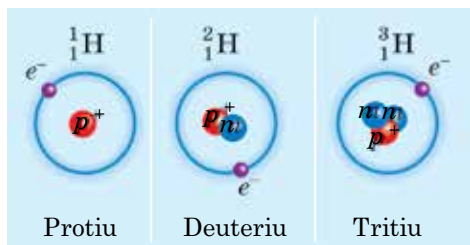


Fig. 39.2. Izotopii Hidrogenului, care există în natură; e^- — electronul, p^+ — protonul, n — neutronul

Dacă diferiți nuclizi au același număr de sarcină, atunci proprietățile lor chimice sunt aceleași — nuclizii aparțin aceluiași element chimic.

Varietățile atomilor unuia și aceluiași element chimic, ale căror nucleele conțin același număr de protoni, însă un număr de neutroni diferit se numesc **izotopi** («aceiași loc»).

Fiecare element chimic are câțiva izotopi (fig. 39.2).

❓ Câți protoni și neutroni conțin nucleele Uranului ${}_{92}^{238}\text{U}$ și ${}_{92}^{235}\text{U}$? Oare ei pot fi numiți izotopi?

2 Care sunt principalele proprietăți ale forțelor nucleare

Nucleele sunt foarte stabile. Dar în ce mod în componența unui nucleu și la o distanță foarte mică unul de altul se mențin protonii, doar particulele încărcate cu sarcini de același nume se resping, neutronii nu au sarcină, iar forțele gravitaționale de atracție sunt de 10^{36} de ori mai mici decât forțele de respingere electrostatică?

S-a stabilit, că nucleonii în interiorul nucleului se atrag unul de altul datorită **interacțiunii tari**, care e cu mult mai puternică decât interacțiunea electromagnetică. Vom menționa, că interacțiunea tare — aceasta-i interacțiunea fundamentală, care se manifestă nu numai ca interacțiune a nucleonilor.

Forțele, care acționează între protoni și neutroni în nucleu și asigură existența nucleelor atomice se numesc **forțe nucleare** (fig. 39.3).

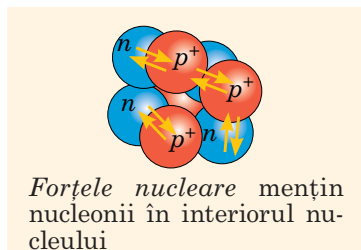
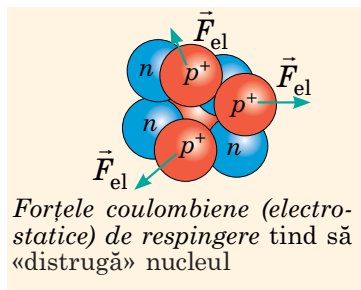


Fig. 39.3. Forțele de interacțiune dintre nucleoni în interiorul nucleului

Principalele proprietăți ale forțelor nucleare:

- 1) acestea-s *cele mai puternice forțe*, care există în natură — ele sunt de 100–1000 de ori mai mari decât forțele electrostatice de respingere dintre doi protoni, situați la distanță apropiată ($\sim 10^{-15}$ m);
- 2) sunt numai forțe de atracție;
- 3) sunt de *rază mică de acțiune*: măsurătorile au arătat, că forțele nucleare se manifestă numai la distanțe, care aproximativ sunt egale cu dimensiunile nucleonului ($\sim 10^{-15}$ m);
- 4) *nu depind de sarcină*: la una și aceeași distanță forțele, care acționează între doi protoni, între doi neutroni sau între un proton și un neutron sunt aceleași;
- 5) *au proprietatea de saturație*: nucleonul este capabil de interacțiune nucleară simultan numai cu o cantitate mică de nucleoni situați în apropiere.

3 Energia de legătură a nucleului atomului

Forțele nucleare sunt mult mai puternice decât cele coulombiene, de aceea pentru a «separa» nucleul în nucleoni aparte, trebuie de efectuat un lucru, adică de consumat o oarecare energie.

Energia necesară pentru descompunerea unui nucleu în nucleoni separați se numește **energie de legătură a nucleului atomic** (E_{leg}).

Conform legii conservării energiei, aceeași energie trebuie să se degaje în timpul formării nucleului. Dar cum se calculează această energie? Răspunsul a fost dat de teoria relativității: energia și masa sunt legate prin formula lui Einstein:

$$E = mc^2.$$

Măsurări minuțioase au demonstrat, că *masa oricărui nucleu este mai mică decât suma maselor nucleonilor, din care acest nucleu este compus:*

$$m_{\text{nuc}} < Zm_p + Nm_n,$$

unde m_{nuc} — masa nucleului; Zm_p — masa protonilor; Nm_n — masa neutronilor în nucleu.

Diferența dintre masa nucleonilor, din care este compus nucleul și masa nucleului se numește **defect de masă:**

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{\text{nuc}}$$

Deoarece în timpul formării nucleului masa sistemului se micșorează, atunci energia, care se degajă în timpul formării nucleului și deci și energia de legătură poate fi determinată după formula:

$$E_{\text{leg}} = \Delta mc^2 = [(Zm_p + Nm_n) - m_{\text{nuc}}] \cdot c^2$$

4 Energia specifică de legătură a nucleului atomului

Pentru a înțelege, de ce unele reacții nucleare au loc cu absorbția energiei, iar în timpul altora energia, invers se degajă trebuie de știut despre *energia specifică de legătură*.

Energia specifică de legătură f — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează nucleul unui anumit nuclid și numeric este egală cu energia de legătură, ce-i revine unui nucleon al nucleului:

$$f = \frac{E_{\text{leg}}}{A},$$

unde E_{leg} — energia de legătură; A — cantitatea de nucleoni în nucleu (numărul de masă).

Atrageți atenția!

• În fizica nucleară nu este comod de folosit unitățile SI (masele și energiile particulelor sunt foarte mici), de aceea de obicei masa particulelor se exprimă în unități atomice de masă (1 u. a. m. = $1,66054 \cdot 10^{-27}$ kg), iar energia — în megaelectron-volți (1 MeV = $1,60222 \times 10^{-13}$ J). Nu e complicat de demonstrat: dacă $\Delta m = 1$ u. a. m., atunci $E_{\text{leg}} = 931,5$ MeV, așadar:

$$E_{\text{leg}} = \Delta m \cdot k,$$

unde $k = 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{u.a.m.}}$

• Dacă în problemă este dată masa atomului neutru (dar nu masa nucleului), atunci pentru a lua în considerație masa electronilor defectul de masa se calculează după formula:

$$\Delta m = (Zm_{\text{H}} + Nm_n) - m_{\text{at}},$$

unde m_{at} — masa atomului neutru, m_{H} — masa atomului de Hidrogen ${}^1\text{H}$; m_n — masa neutronului.

❓ Demonstrați ultima egalitate, considerând, că cantitatea de electroni în atomul neutru este egală cu cantitatea de protoni în nucleul lui, iar atomul de Hidrogen ${}^1\text{H}$ este compus dintr-un proton și un neutron.

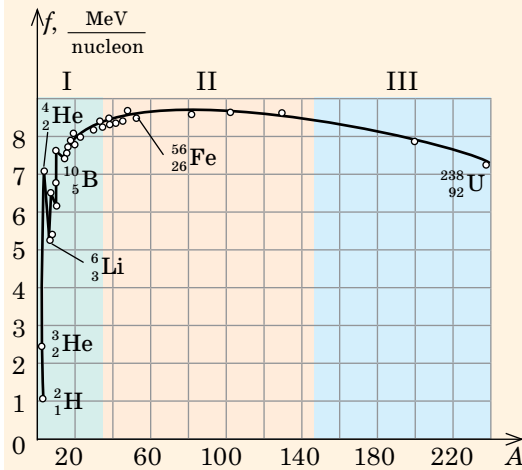


Fig. 39.4. Graficul dependenței energiei specifice de legătură a diferiți nucleoni de cantitatea de nucleoni în nucleu: $f(A)$

Graficul dependenței $f(A)$ poate fi împărțit în trei porțiuni.

- Porțiunea I (*nucleele ușoare*) – curba dependenței urcă treptat, adică energia specifică de legătură se mărește; aceasta înseamnă, că în cazul sintezei (îmbinării) nucleelor ușoare în mai grele se va degaja energie.
- Porțiunea II (*nucleele elementelor din partea de mijloc a Sistemului periodic al elementelor chimice*) este aproape dreaptă, pe această porțiune curba atinge un maxim slab, care înseamnă că elementele acestei porțiuni sunt cele mai stabile.
- Porțiunea III (*nuclee grele*) – energia specifică de legătură scade treptat, de aceea nucleele devin mai puțin stabile și în timpul fisiunii acestor nuclee se va degaja energie.

În fig. 39.4 este reprezentat graficul dependenței energiei specifice de legătură a nucleelor diferiților nuclizi de cantitatea de nucleoni în nucleu — graficul dependenței $f(A)$. Analiza graficului ne permite să aflăm metodele, cu care se poate obține energie nucleară: prima metodă constă în descompunerea nucleului greu (reacția de fisiune), a doua — în îmbinarea nucleelor ușoare în unul (reacția de sinteză). În rezultatul reacției de fisiune, și a reacției de sinteză se formează nuclee cu energie specifică de legătură mai mare: unui nucleon îi revine un defect de masă mai mare — masa, ce a rămas se transformă în energie.

5 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Calculați energia specifică de legătură a nucleului de Helium (${}^4_2\text{He}$). Datele necesare găsiți-le în tabelul «Masa unor nuclizi» (Anexa 1).

Folosind valorile numerice ale maselor atomului de Hidrogen, neutronului și atomului de Helium, obținem defectul de masă în unități atomice de masă și vom afla energia specifică de legătură.

Se dă:

$$m_{\text{He}} = 4,002\,60 \text{ u. a. m.}$$

$$m_{\text{H}} = 1,007\,83 \text{ u. a. m.}$$

$$m_n = 1,008\,66 \text{ u. a. m.}$$

$$k = 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{u. a. m.}}$$

$$Z = 2$$

$$A = 4$$

f — ?

Căutarea modelului matematic, rezolvarea.

Conform definiției energiei specifice de legătură: $f = \frac{E_{\text{leg}}}{A}$

Energia de legătură vom afla-o după defectul de masă

$$\Delta m: E_{\text{leg}} = \Delta m \cdot k, \text{ unde } \Delta m = Zm_{\text{H}} + (A - Z)m_n - m_{\text{He}}.$$

Determinăm valoarea mărimii căutate:

$$\Delta m = 2 \cdot 1,007\,83 \text{ u. a. m.} + 2 \cdot 1,008\,66 \text{ u. a. m.} - 4,002\,60 \text{ u. a. m.} = 0,030\,38 \text{ u. a. m.}$$

$$E_{\text{leg}} = 0,030\,37 \text{ u. a. m.} \cdot 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{u. a. m.}} \approx 28,3 \text{ MeV};$$

$$f \approx \frac{28,3 \text{ MeV}}{4 \text{ nucleoni}} \approx 7,07 \frac{\text{MeV}}{\text{nucleoni}}$$

Răspuns: $f \approx 7,07 \text{ MeV/nucleoni}$



Facem totalurile

- Nucleele atomilor sunt compuse din nucleoni: protoni și neutroni, Cantitatea de protoni (Z) în nucleul atomului elementului dat este egală cu numărul de ordine al elementului în Sistemul periodic al lui D. I. Mendeleev, cantitatea de nucleoni (A) este egală cu numărul de masă.
- Varietățile atomilor unuia și aceluiași element chimic, ale căror nucleeele conțin același număr de protoni, însă un număr de neutroni diferit se numesc izotopi ai elementului chimic dat.
- În nucleu nucleonii sunt reținuți împreună datorită acțiunii forțelor nucleare. Forțele nucleare sunt de rază mică de acțiune — la distanțe mai mari decât dimensiunea nucleonului, ele nu se manifestă.
- Masa nucleului este mai mică decât suma maselor nucleonilor din componența lui. Diferența menționată se numește defect de masă Δm . Defectul de masă determină energia de legătură: $E_{leg} = \Delta m \cdot c^2$.
- Degajarea energiei nucleare este posibilă, de exemplu, în urma îmbinării (sintezei) nucleelor ușoare și fisiunii nucleelor grele.



Întrebări pentru control

1. Din care particule este compus nucleul atomului? 2. Cum se determină cantitatea de protoni și de neutroni în nucleu? Dați exemple. 3. Dați definiția nuclidului.
4. Care nuclizi se numesc izotopi? Dați exemple. 5. Ce tip de interacțiune asigură menținerea nucleonilor în nucleul atomului? 6. Dați definiția forțelor nucleare, numiți proprietățile lor. 7. Ce este defectul de masă și cum el se determină?
8. Dați definiția energiei de legătură. Cum ea se calculează? 9. Caracterizați energia specifică de legătură ca mărime fizică. 10. De ce în timpul îmbinării nucleelor ușoare și în timpul fisiunii nucleelor grele se degajă energie?



Exercițiul nr. 39

1. Determinați câți protoni și câți neutroni se conțin în nucleul Fluorului ${}^{19}_9\text{F}$; nucleul Telurului ${}^{127}_{52}\text{Te}$; nucleul Mercurului ${}^{201}_{80}\text{Hg}$.
2. Pentru nucleul izotopului cărui element energia de legătură este egală cu zero?
3. După graficul dependenței energiei specifice de legătură de numărul de masă (vezi fig. 39.4) determinați, de degajare sau de absorbție a energiei este însoțită fisiunea nucleului, care este compus din 210 nucleoni.
4. Aflați defectul de masă, energia de legătură și energia specifică de legătură a nucleului Nitrogenului ${}^{14}_7\text{N}$.
5. Care este energia specifică de legătură a nucleului izotopului de Oxigen-17?
6. În rezultatul fisiunii nucleului de Uraniu-235 s-au format nucleeele Bariului-142 și Criptonului-91. Câtă energie s-a degajat în acest timp? Energia specifică de legătură a nucleului Uraniului-235 — 7,59 MeV/nucleon, nucleului Bariului-142 — 8,38 MeV/nucleon, nucleului Criptonului-91 — 8,55 MeV/nucleon.
7. Lista adusă în punctul 1 al § 39 a numelor învățaților, care au contribuit în mod semnificativ la studiul structurii nucleului atomic poate fi prelungită: *Irene Jolie Curie, Lisa Meitner, Otto Gon, Francis William Aston* ș. a. Pentru dezvoltarea modelului cu înveliș al nucleului, laureată a Premiului Nobel pentru fizică (a. 1963) a devenit *Maria Geperd-Mayer*. Pregătiți un raport scurt (1–2 min.) despre descoperirea unuia dintre acești cercetători sau cercetătoare.

§ 40. RADIOACTIVITATEA. LEGEA FUNDAMENTALĂ A DEZINTEGRĂRII RADIOACTIVE



Alchimiștii Evului Mediu visau despre piatra filosofică, care ar transforma toate substanțele în aur. «Alchimia actuală» — așa a numit cartea sa E. Rutherford despre transformările nucleelor atomice. Despre aceea ce schimbări se petrec cu nucleul în timpul radiației radioactive va merge vorba în acest paragraf.

1 Amintim istoria descoperirii radioactivității

Istoria descoperirii radioactivității a început cu descoperirea razelor Röntgen. Drept imbold pentru cercetări a devenit presupunerea, că razele Röntgen pot apărea în timpul fluorescenței unor substanțe iradiate cu lumină solară. De o asemenea substanță și s-a folosit fizicianul francez Antuan Becquerel (1852–1908) în februarie a. 1896. Pentru cercetare el întâmplător a ales sarea de Uraniu puțin cunoscută, care este sensibilă la fluorescență.

Știind, că razele Röntgen, spre deosebire de cele luminoase trec prin hârtia neagră, savantul a luat o placă fotografică învelită în hârtie neagră, a pus pe ea cruce din sare de uraniu și a scos placa fotografică la lumina solară. După dezvoltare pe placa fotografică au apărut pete negre anume în acele locuri, unde era situată sarea de uraniu. Astfel a fost stabilit, că *sarea de uraniu într-adevăr emite radiație, care are o putere mare de penetrare.*

Timpul posomorât l-a încurcat pe Becquerel să continue cercetările sale și el a pus placa fotografică, gata pentru experiment, cu sarea de uraniu și crucea de cupru între ele în sertarul mesei. Peste câteva zile, savantul a hotărât să dezvolpeze placa fotografică. Rezultatul a fost neașteptat: pe placă a apărut conturul crucii. Deci lumina solară aici nu joacă nici un rol: *sarea de Uraniu însuși, fără acțiunea factorilor exteriori, emite radiație invizibilă.*

Mai târziu o astfel de radiație va fi numită **radiație radioactivă**; *capacitatea substanțelor de a emite radiație radioactivă — radioactivitate; nuclizii, nucleeele cărora au o asemenea capacitate — radionuclide.*

Descoperirea Radiului

Termenul radioactivitate a fost introdus în știință de către *Marie Sklodovska Curie* (1867–1934). «Oare numai Uraniul emite «razele Becquerel?»» — cu căutarea răspunsului la această întrebare ea și-a început lucrul său de studiere a radioactivității. În a. 1898 M. Sklodovska-Curie și soțul ei *Pierre Curie* (1859–1906) au descoperit două elemente radioactive noi — Radiul și Poloniul. Radiul s-a dovedit a fi de milioane de ori mai activ decât uraniul, dar să se obțină această substanță în cantități suficiente pentru experiențe s-a dovedit a fi destul de dificil. A fost nevoie de încă 4 ani de lucru minuțios (aproape manual de către soți au fost prelucrate 11 t de minereu!) pentru a obține o eprubetă mică de radiu.

Pentru studierea radioactivității familia Curie împreună cu A. Becquerel au primit Premiul Nobel pentru Fizică în anul 1903, iar în martie anul 1911 Marie Sklodovska-Curie a mai primit un Premiu Nobel pentru Chimie. În întreaga istorie doar patru persoane au devenit laureați ai Premiului Nobel de două ori.



2 Natura radiației radioactive

Experiențele de studiere a naturii radiației radioactive au arătat, că diferiți radionuclizi pot emite *raze de trei feluri*:

1) radiația α — particule încărcate pozitiv (nucleele atomilor de Heliu);

2) *radiația β* : radiația β^- — particule ușoare încărcate negativ (electroni rapizi), radiația β^+ — particule ușoare încărcate pozitiv (pozitroni rapizi);

3) *radiația γ* — unde electromagnetice de frecvență înaltă.

În fig. 40.1 este reprezentată schema unei astfel de experiențe: fasciculul de radiație radioactivă nimereste mai întâi în câmpul magnetic puternic al magnetului permanent, iar apoi pe placa fotografică. După dezvoltarea plăcii pe ea clar se văd trei pete întunecate, care mărturisesc despre aceea că mostra radioactivă emite raze de trei tipuri.

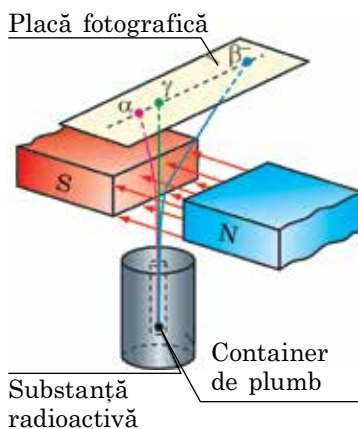


Fig. 40.1. Schema experienței pentru studierea naturii radiației radioactive: mostra de uraniu ($^{238}_{92}\text{U}$ și $^{235}_{92}\text{U}$ în amestec cu radionuclizii lor inițiali) este sursă de radiații α , β , γ .

Tipurile de radiație radioactivă

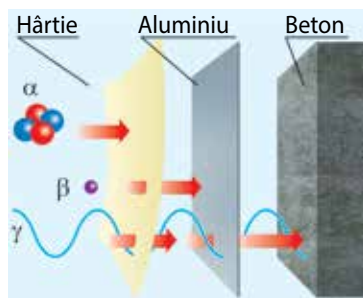
Radiația α	Radiația β^-	Radiația β^+	Radiația γ
Un flux de particule α — de nucleu ale atomilor de Heliu ^4_2He , care se mișcă cu viteza de ordinul a 10^7 m/s. $q_\alpha = +2e \approx 3,2 \cdot 10^{-19}$ C, $m_\alpha \approx 4,0$ u. a. m $\approx 6,6 \cdot 10^{-27}$ kg	Un flux de particule β^- — de electroni $^0_{-1}e$, care zboară cu o viteză apropiată de viteza luminii. $q(\beta^-) = -e \approx -1,6 \cdot 10^{-19}$ C, $m_e \approx 5,5 \cdot 10^{-4}$ u. a. m $\approx 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg	Un flux de particule β^+ — de pozitroni $^0_{+1}e$, care zboară cu o viteză apropiată de viteza luminii. $q(\beta^+) = -e \approx +1,6 \cdot 10^{-19}$ C, $m(e^+) \approx 5,5 \cdot 10^{-4}$ u. a. m $\approx 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg	radiația γ — unde electromagnetice de o frecvență extrem de înaltă (peste 10^{18} Hz). Viteza de propagare a acestor unde în vid constituie $3 \cdot 10^8$ m/s.

Radiația radioactivă nu se fixează de către organele de simț ale omului, însă ea poate aduce la consecințe tragice. Cel mai simplu este de-a se apăra de radiațiile α și β : pentru a opri particulele α e suficient de o foaie subțire de hârtie (0,1 mm); radiația β este complet absorbită, de exemplu, de o placă de aluminiu cu grosimea de 1 mm.

Cele mai periculoase pentru om sunt radiațiile γ .



Ce metode de protecție de la radiația radioactivă voi cunoașteți?



Cum să ne protejăm de radiațiile radioactive

Aflând despre contaminarea cu substanțe radioactive trebuie de făcut, în special, următoarele.

1. De se ascuns în clădire: pereții din beton și cărămidă protejează complet de radiațiile α și β și absorb foarte bine radiațiile γ .
2. De închis toate geamurile, ușile, grătarele de ventilație.
3. De dezbrăcat hainele de pe stradă, de le împachetat într-o pungă de plastic, de făcut duș.
4. De închis ermetic rezervele de apă potabilă, hrană.
5. De se străduit de consumat alimente bogate în iod (nuci, alge etc.), alimente bogate în proteine vegetale.

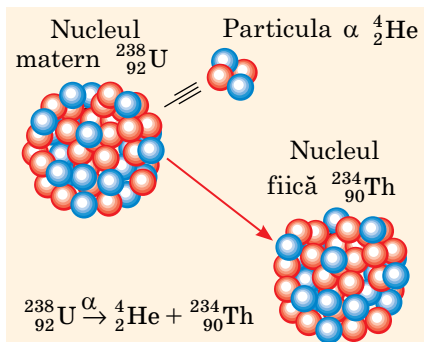


Fig. 40.2. În timpul dezintegrării α nucleul matern se dezintegrează spontan în două părți: particula α și nucleul fiică (nou)

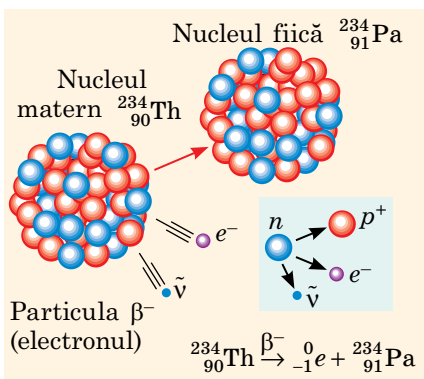


Fig. 40.3. În timpul dezintegrării β^- unul dintre neutronii nucleului matern se transformă într-un proton, un electron și un antineutrino electronic:

${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + {}^0_0\tilde{\nu}$; electronul și antineutrino sunt emiși, protonul rămâne în nucleu (se formează un nucleu nou)

3 Regulile deplasării

Studierea radioactivității a arătat, că *radiația radioactivă este consecință a transformării nucleelor atomilor*. În plus aceste transformări au loc spontan (fără pricini exterioare), ele nu pot fi accelerate sau încetinite, ele nu depind de influența exterioară, adică asupra lor nu influențează variațiile presiunii și temperaturii, acțiunile câmpurilor electric și magnetic, reacțiile chimice, schimbarea iluminării etc.

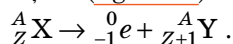
Radioactivitatea — capacitatea nucleelor radionuclizilor să se transforme spontan în nucleele altor elemente cu emiterea microparticulelor.

Radiind particulele α sau β , nucleul inițial (matern) se transformă în nucleul atomului altui element (nucleu fiică); dezintegrările α și β pot fi însoțite de radiația γ . În urma unui șir de experiențe au fost stabilite regulile generale ale unor asemenea transformări — **reguli de deplasare**.

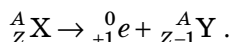
1. În timpul dezintegrării α cantitatea de nucleoni în nucleu se micșorează cu 4, de protoni — cu 2, de aceea se formează nucleul elementului, numărul de ordine al căruia este cu 2 unități mai mic, decât numărul de ordine al elementului inițial (fig. 40.2):



2. În timpul dezintegrării β^- cantitatea de nucleoni în nucleu nu se schimbă, iar cantitatea de protoni se mărește cu 1, de aceea se formează nucleul elementului, numărul de ordine al căruia este cu o unitate mai mare, decât numărul de ordine al elementului inițial (fig. 40.3):



3. În timpul dezintegrării β^+ cantitatea de nucleoni în nucleu nu se schimbă, iar cantitatea de protoni se micșorează cu 1, de aceea se formează nucleul elementului, numărul de ordine al căruia este cu o unitate mai mică, decât numărul de ordine al elementului inițial (fig. 40.4):



☝ Nucleul cărui element se formează în rezultatul dezintegrării β^- a Radiului ${}^{228}_{88} \text{Ra}$?

Atrageți atenția! În timpul dezintegrării β în afară de electron (sau pozitron) din nucleu zboară încă o particulă — **antineutrino** sau **neutrino**. Din cauza masei foarte mici și lipsa sarcinii aceste particule interacționează foarte slab cu substanța, și aceasta împiedică observarea lor în experiențe (vezi § 43).

4 Legea fundamentală a dezintegrării radioactive

Să luăm o retortă închisă de sticlă, care conține o anumită cantitate de Radon-220 — el este radioactiv, și nucleele lui se dezintegrează spontan, emițând particule α . Dar se poate oare afla, care anume nucleu se va dezintegra primul? Dar care ultimul? Nu, este imposibil de aflat aceasta: *dezintegrarea unuia sau altuia radionuclid — un eveniment întâmplător*. În același timp comportamentul oricărei substanțe radioactive se supune unei legități bine determinate: fiecare radionuclid are *perioada sa de semidezintegrare* (vezi tabelul). Astfel, în exemplul dat, aproximativ peste 55,6 s cantitatea radonului în retortă se va micșora de două ori. Peste alte 55,6 s din rest la fel va rămânea jumătate ș.a.m.d. Astfel, intervalul de timp de 55,6 s este perioada de semidezintegrare a Radonului-220.

Perioada de semidezintegrare $T_{1/2}$ — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează radionuclidul și este egală cu timpul, în decursul căruia se dezintegrează jumătate din cantitatea existentă de nuclee ale radionuclidului dat.

Unitatea de măsură a perioadei de semidezintegrare în SI — secunda:
 $[T_{1/2}] = 1 \text{ s}.$

Fie că la momentul inițial de timp mostra radioactivă conține N_0 nuclee ale unui oarecare radionuclid. În rezultatul dezintegrării radioactive cantitatea acestor nuclee se va micșora cu timpul. În timpul t_1 , care este egal cu o peri-

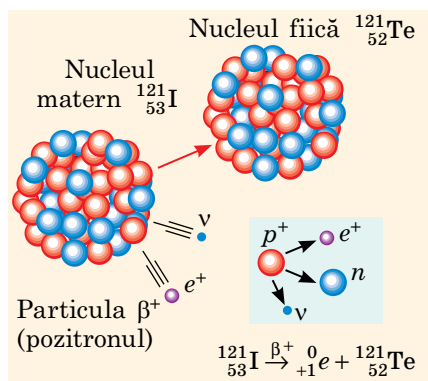


Fig. 40.4. În timpul dezintegrării β^+ unul dintre protonii nucleului matern se transformă într-un neutron, un pozitron și un neutrino electronic: ${}_1^1 p \rightarrow {}_0^1 n + {}_{+1}^0 e + {}_0^0 \bar{\nu}$; pozitronul și neutrino sunt emiși, neutronul rămâne în nucleu (se formează un nucleu nou)

Perioada de semidezintegrare a unor radionuclizi radioactivi

Radionuclidul	Perioada de semidezintegrare
Iod-131	8 zile
Kaliu-40	1,25 mlrd. de ani
Carbon-14	5700 ani
Cobalt-60	5,3 ani
Plutoniu-239	24 mii de ani
Radiu-226	1600 ani
Radon-220	55,6 s
Radon-222	3,8 zile
Stronțiu-89	50,5 zile
Stronțiu-90	28,9 ani
Uraniu-235	0,7 mlrd ani
Uraniu-238	4,5 mlrd ani
Cesiu-137	30 ani

oadă de semidezintegrare ($t_1 = T_{1/2}$), cantitatea de nuclee, care nu s-au dezintegrat s-a micșorat de două ori: $N_1 = \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot 2^{-1}$; mai peste o perioadă de semidezintegrare ($t_2 = 2T_{1/2}$) din restul de nuclee va rămâne tot jumătate: $N_2 = \frac{N_1}{2} = \frac{N_0 \cdot 2^{-1}}{2} = N_0 \cdot 2^{-2}$; peste timpul $t_3 = 3T_{1/2}$ cantitatea de nuclee va fi egală cu $N_3 = \frac{N_2}{2} = \frac{N_0 \cdot 2^{-2}}{2} = N_0 \cdot 2^{-3}$. Așadar, peste n perioade de semidezintegrare ($t = nT_{1/2}$) în mostră vor rămâne $N = N_0 \cdot 2^{-n}$ nuclee ai radionuclidului (fig. 40.5).

Ținând cont, că $n = \frac{t}{T_{1/2}}$, avem **legea fundamentală a dezintegrării radioactive**:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}},$$

unde N — cantitatea nucleelor radionuclidului, care au rămas în mostră peste timpul t ; N_0 — cantitatea inițială de nuclee; $T_{1/2}$ — perioada de semidezintegrare; t — timpul dezintegrării.

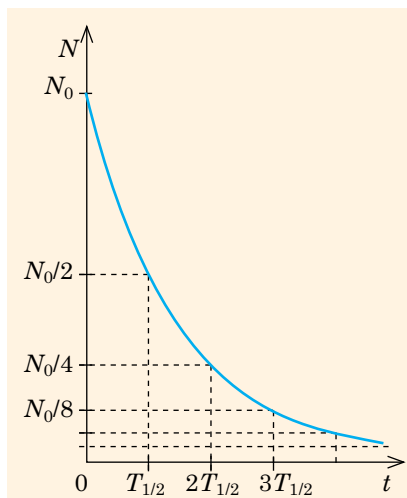


Fig. 40.5. Graficul dependenței cantității N a nucleelor radionuclidului, care au rămas în mostră, de timpul t . $T_{1/2}$ — perioada de semidezintegrare; N_0 — cantitatea inițială de nuclee

Atrageți atenția!

1 Bq — aceasta-i o activitate foarte mică, de aceea este folosită **unitatea activității din afara sistemului SI — curie (Ci)**:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

5 Activitatea radionuclidului

Și Radonul-220 și Radonul-222 sunt α radioactive (nucleele lor se pot dezintegra spontan într-o particulă α și nucleul fiică corespunzător). Deci dacă cantitatea atomilor Radonului-220 și a Radonului-222 este aceeași, din care mostră în 1 s va zbura mai multe particule α ?

Mărimea fizică, care numeric este egală cu cantitatea de dezintegrări, care au loc într-o anumită sursă radioactivă într-o secundă se numește **activitate A** a sursei radioactive.

Unitatea de măsură a activității în SI — becquerel-ul: $[A] = 1 \text{ Bq}$.

1 Bq — aceasta-i activitatea unei asemenea surse radioactive, în care în decurs de 1 s are loc 1 act de dezintegrare: $1 \text{ Bq} = 1 \text{ dez/s} = \text{s}^{-1}$.

Dacă mostra conține atomi numai ai unui singur radionuclid, atunci activitatea acestei mostre poate fi determinată după formula:

$$A = \lambda N,$$

unde N — cantitatea atomilor radionuclidului în mostră la momentul dat de timp; λ — **constanta dezintegrării radioactive** — mărimea fizică, care este caracteristica radionuclidului și este legată cu perioada de semidezintegrare cu corelația:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}; [\lambda] = \text{s}^{-1}.$$

Cu scurgerea timpului în mostra radioactivă cantitatea de nuclee ai radionuclizilor, care nu s-au dezintegrat scade, de aceea se micșorează și activitatea radionuclidului (fig. 40.5).

6 Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. Determinați masa uraniului ($^{235}_{92}\text{U}$), care are aceeași activitate ca și cesiul ($^{137}_{55}\text{Cs}$) cu masa de 2 mg.

Se dă:

$$M(\text{U}) = 235 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Cs}) = 137 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Cs}) = 2 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

$$A(\text{U}) = A(\text{Cs})$$

$$T_{1/2}(\text{U}) = 7 \cdot 10^8 \text{ ani}$$

$$T_{1/2}(\text{Cs}) = 30 \text{ ani}$$

$m(\text{U}) = ?$

Rezolvarea. După formula activității: $A = \lambda N$; unde $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$.

Cantitatea N de nuclee ai radionuclidului este egală cu:

$$N = \frac{m}{M} N_A, \text{ unde } N_A \text{ — constanta lui Avogadro. Așadar, ac-}$$

tivitatea fiecărui radionuclid este egală cu: $A = \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{M} N_A$.

Din condiție $A(\text{U}) = A(\text{Cs})$, deci avem:

$$\frac{\ln 2}{T_{1/2}(\text{U})} \cdot \frac{m(\text{U})}{M(\text{U})} N_A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}(\text{Cs})} \cdot \frac{m(\text{Cs})}{M(\text{Cs})} N_A.$$

$$\text{După simplificare: } \frac{m(\text{U})}{T_{1/2}(\text{U}) \cdot M(\text{U})} = \frac{m(\text{Cs})}{T_{1/2}(\text{Cs}) \cdot M(\text{Cs})} \Rightarrow m(\text{U}) = \frac{m(\text{Cs}) T_{1/2}(\text{U}) M(\text{U})}{T_{1/2}(\text{Cs}) M(\text{Cs})}.$$

Verificăm unitatea de măsură, determinăm valoarea mărimii căutate:

$$[m(\text{U})] = \frac{\text{g} \cdot \text{an} \cdot \text{g/mol}}{\text{an} \cdot \text{g/mol}} = \text{g}; \quad m(\text{U}) = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 10^8 \cdot 235}{30 \cdot 137} = 0,8 \cdot 10^5 \text{ (g)}.$$

Răspuns: $m(\text{U}) = 80 \text{ kg}$.



Facem totalurile

- Majoritatea nucleizilor, care există în natură sunt radioactivi: nucleele lor se dezintegrează spontan, emițând microparticule și transformându-se în alte nuclee. Dacă nucleul radiază o particulă α (nucleul atomului de Helium), atunci cantitatea nucleonilor în nucleu scade cu 4, iar a protonilor — cu 2; dacă nucleul radiază o particulă β^- (electron), atunci cantitatea protonilor în nucleu crește cu 1; dacă nucleul radiază o particulă β^+ (pozitron), atunci cantitatea protonilor în nucleu scade cu 1. Și dezintegrarea α și dezintegrarea β pot fi însoțite de radiația γ — radiație electromagnetică de frecvență înaltă.

- Perioada de semidezintegrare $T_{1/2}$ — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează radionuclidul și este egală cu timpul, în decursul căruia se dezintegrează jumătate din cantitatea existentă de nuclee ale acestui radionuclid.

- Cantitatea nucleelor N , care au rămas în mostră peste timpul t , este determinată de legea fundamentală a dezintegrării radioactive: $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$.



Întrebări pentru control

- Cum a fost descoperită radioactivitatea?
- Dați exemple de elemente radioactive naturale.
- Descrieți experiența de studiere a naturii radiației radioactive.
- Dați definiția radioactivității.
- Ce tipuri de radiații radioactive voi cunoașteți? Care este natura lor fizică? De unde în nucleu se iau electroni?
- Cum să ne protejăm de radiația radioactivă?
- Ce se întâmplă cu nucleul atomului în timpul iradierii particulei α ? particulei β ?
- Dați definiția perioadei de semidezintegrare.
- Ce este activitatea sursei radioactive? Se schimbă oare ea cu timpul?



Exercițiul nr. 40

1. În timpul dezintegrării radioactive a nucleului de ${}^{238}_{92}\text{U}$ este iradiată o particulă α . În nucleul cărui element se transformă în acest caz Uraniul-238?
2. Nucleul de Natriu (${}^{24}_{11}\text{Na}$), dezintegrându-se radiază un electron. Ce tip de dezintegrare radioactivă este acesta? Nucleul cărui element se formează în acest caz?
3. Perioada de simedzintegrare a Radiului-226 constituie 1600 de ani. Câte nuclee ale acestui radionuclid se vor dezintegra în 4800 de ani, dacă cantitatea inițială a nucleelor de Radium în mostră este de 10^9 ?
4. Perioada de simedzintegrare a Cesiului-137 constituie 30 de ani. Câte procente din nucleele acestui radionuclid se vor dezintegra în 120 de ani?
5. În organismul omului conținutul de Potasiu constituie 0,19% din masa lui; nuclidul radioactiv de Potasiu constituie 0,012% din cantitatea totală de Potasiu. Câte nuclee ale acestui radionuclid se vor dezintegra în 1 secundă în organismul omului cu masa de 100 kg?
6. Afară de cea externă există pericolul iradierii interne: radionuclizii pot nimeri în organism cu mâncarea sau cu apa. Aflați despre pricinile pericolului înalt al acestei iradierii și metodele de protecție de la ea.

i

§ 41. OBTINEREA ȘI UTILIZAREA RADIONUCLIZILOR. METODELE DE ÎNREGISTRARE A RADIAȚIEI IONIZANTE

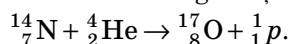


Studiind § 40, ați stabilit, că nucleele unor elemente chimice se pot transforma spontan în alte nuclee și că asupra vitezei acestei transformări nu influențează nici presiunea, nici temperatura, nici cele mai puternice câmpuri. Vom afla, cum de făcut nucleul să se transforme în alt nucleu, ce nuclee se pot obține în acest timp, cum ele pot fi identificate și unde se aplică.

1 Unii factori despre reacțiile nucleare

Transformarea nucleelor atomilor în timpul interacțiunii lor cu particule elementare sau cu alte nuclee se numește **reacție nucleară**.

Prima reacție nucleară a realizat-o *Ernest Rutherford* în a. 1919. Aceasta a fost reacția de interacțiune a particulei α (nucleul atomului de Helium) cu nucleul atomului de Nitrogen, în rezultatul căreia s-au format nucleul atomului de Oxigen și un proton:



De ce anume particula α ? Chestia constă în aceea, că particulele α au o viteză colosală și *se pot apropia de nucleu într-atâta, că vor începe să acționeze forțele nucleare*.

Continuând experiențele, savanții au stabilit, că energia particulelor α este

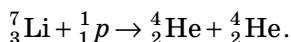
Atrageți atenția!

În timpul oricăror reacții nucleare se îndeplinesc legile conservării:

- legea conservării sarcinii electrice;
- legea conservării energiei și masei;
- legea conservării impulsului;
- legea conservării numărului de masă.

? Convingeți-vă, că în reacțiile nucleare indicate în § 41 și suma numerelor de sarcini și suma numerelor de masă în părțile stângă și dreaptă ale fiecărei ecuații sunt identice.

insuficientă pentru a se apropia destul de nucleeele, care au numărul de ordine mai mare de 19, doar o dată cu mărirea sarcinii nucleului se mărește și forța de respingere coulombiană. Pentru a studia asemenea nucleee, ar fi putut fi folosiți protonii (sarcina lor e de două ori mai mică), însă protoni rapizi nu există în natură. Anume atunci a apărut ideea creării *acceleratoarelor de particule încărcate*. Prima *reacție nucleară cu protoni rapizi* a fost realizată în laboratorul lui E. Rutherford în a. 1932: în urma iradierii litiului cu protoni rapizi s-a reușit să se descompună nucleul atomului de Litiu în două particule α :



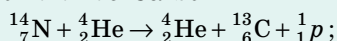
Acceleratoarele contemporane asigură posibilitatea transformării sau ruinerii artificiale a oricărui nucleu al atomului.

Și mai multe posibilități pentru studierea reacțiilor nucleare savanții le-au obținut în legătură cu descoperirea neutronului (a. 1932): *neutronul nu are sarcină, de aceea nu este respins de nucleu, așadar el nu trebuie accelerat*. În urma cercetării reacțiilor cu neutroni s-a descoperit, că *neutronul lent este captat de nucleu mai bine decât neutronul rapid*. Acest fapt a fost stabilit pe cale experimentală de către un grup de savanți tineri italieni sub conducerea lui *Enrico Fermi* (1901–1954) în a. 1934. Anume utilizarea neutronilor lenți a permis cu timpul crearea reactorului nuclear (vezi § 42).

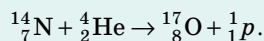
Realizarea primei reacții nucleare

În a. 1919 E. Rutherford a descoperit, că în timpul trecerii particulelor α prin aer i-au născut protonii. Învățatul a expus două *ipoteze*:

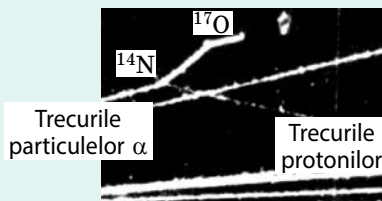
1) particula α ca un «proiectil» rapid smulge protonul din nucleul atomului de Nitrogen (aerul conține 80% de azot) și acest nucleu se transformă în nucleul atomului de Carbon



2) particula α este captată de nucleul atomului de Nitrogen, nucleul nou emite un proton și se transformă în nucleul de Oxigen:



Dreaptă s-a dovedit a fi a doua ipoteză – reacția corespunzătoare peste 6 ani era observată în *camera Wilson*.

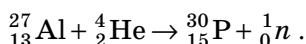


Trecurile nucleelor în camera Wilson. «Furca» caracteristică arată, că în momentul ciocnirii se formează două particule.

2 Obținerea și utilizarea izotopilor radioactivi

Să ne amintim: izotopii — varietățile atomilor unuia și aceluiași element chimic, ale căror nucleeele conțin același număr de protoni, însă un număr de neutroni diferit. Respectiv **izotopii radioactivi** — *aceștia-s varietățile atomilor aceluiași element chimic, nucleeele cărora se pot transforma spontan în nucleeele altor elemente cu iradierea microparticulelor și razelor γ* .

Primul izotop radioactiv artificial — izotopul de Fosfor (${}^{30}_{15}\text{P}$) l-au obținut în a. 1934 soții *Iren și Frederic Jolio-Curie*. Iradiind aluminiul cu particulele α ei au observat emisia neutronilor:



Interesant era faptul, că odată cu iradierea neutronilor erau iradiați și pozitroni.



Fig. 41.1. Pentru a îmbunătăți calitatea îngrășămintelor, se clarifică cum ele sunt asimilate de plante. Pentru aceasta în îngrășămintele se adaugă un izotop radioactiv, iar apoi să studiezi plantele pentru radioactivitate

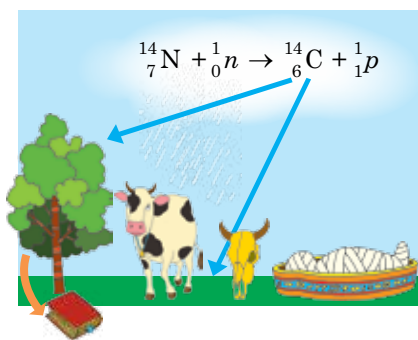


Fig. 41.2. După conținutul Carbonului β^- radioactiv, perioada de semidezintegrare a căruia este de 5700 de ani, se poate determina vârsta descoperirilor arheologice: după moartea copacului, a animalului etc. numărul de dezintegrări β scade de două ori la fiecare 5700 de ani

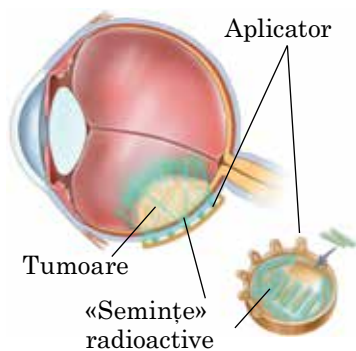
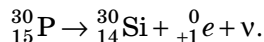


Fig. 41.3. Pentru tratamentul unor tipuri de tumori se folosesc «aplicatori» radioactivi, care se aplică pe suprafața tumorii (brahiterapia)

Existența pozitronilor însemna, că nucleul Fosforului-30 obținut era β^+ -radioactiv:



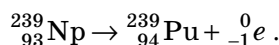
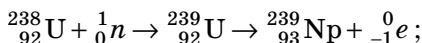
Astăzi pentru fiecare element chimic cu ajutorul reacțiilor nucleare sunt obținuți *izotopi radioactivi* artificiali, și de obicei ei sunt β^+ radioactivi. La scară industrială izotopii se obțin în reactoare nucleare, folosind atât produse de fisiune, cât și neutronii, cu care se iradiază substanțele.

Izotopii radioactivi artificiali și naturali sunt aplicați pe scară largă în medicină, agricultură, industrie, energetică etc. Se pot determina trei direcții de utilizare a izotopilor radioactivi.

1. *Utilizarea izotopilor radioactivi ca indicatori.* Radioactivitatea este un semn distinctiv, cu ajutorul căruia poate fi observată prezența elementului, urmărit «comportamentul» lui în timpul proceselor fizice și biologice ș. a. (vezi, de exemplu, fig. 41.1, 41.2). anume cu ajutorul a astfel de indicatori a fost demonstrat, că organismul omului se reînnoiește aproape total în decursul a doi ani.

2. *Utilizarea izotopilor radioactivi ca surse de radiație γ .* Cu ajutorul radiației γ sunt distruși microbii (sterilizarea γ), sunt depistate defectele din interiorul metalelor (defectoscopia γ), sunt tratate bolile oncologice (fig. 41.3). Iradierea semințelor cu doze mici de radiație γ contribuie la o creștere semnificativă a roadei, iar iradierea cu doze mari poate duce la mutații și obținerea plantelor cu proprietăți îmbunătățite (radioselecția).

3. *Utilizarea izotopilor radioactivi ca surse de energie nucleară.* De exemplu, ca combustibil pentru reactoarele nucleare se utilizează pe larg Plutoniul — element transuranian, atomii căruia se formează în urma captării neutronului de către nucleul de Uraniu-238:



3 Dispozitivele pentru înregistrarea radiației ionizante

Principiul general de înregistrare a radiației ionizante constă în înregistrarea acțiunilor, pe care le provoacă această radiație.

Stratul de fotoemulsie. Particula încărcată accelerată, mișcându-se într-un strat de fotoemulsie, care conține cristale de AgBr, în calea sa smulge electronii din unii ioni de Brom. După dezvoltare în cristalele modificate se formează «grăunțe» de argint metalic — în stratul de fotoemulsie se ivesc urmele (trecurile) particulei inițiale și a tuturor particulelor încărcate, care au apărut în urma interacțiunilor nucleare. După grosimea și lungimea trecurilor se poate determina sarcinile particulelor și energiile lor.

Contorul scintilator — *detector de scintilații* — sclipiri de lumină, care apar în anumite substanțe ca urmare a lovirilor de particulele încărcate. Anume astfel de contoare a folosit a folosit E. Rutherford în experimentul său pentru determinarea structurii atomilor (vezi § 36).

Camera Wilson (fig. 41.4) — *detector de trecuri*. Ea reprezintă în sine un vas umplut cu vapori de spirt sau eter. Când pistonul este coborât brusc, atunci datorită dilatării adiabatice, vaporii se răcesc și devin *suprasaturați*. Când în soluția suprasaturată nimerește o particulă încărcată, ea ionizează moleculele de vapori în calea sa — ionii obținuți devin centre de condensare. Lanțul picăturilor de vapori condensat, care s-a format de-a lungul traiectoriei mișcării particulei (trecul particulei), este fixat de cameră video sau de aparatul de fotografiat (fig. 41.5).

Camera cu bule este, de asemenea, un *detector de trecuri*. Principiul ei de lucru este asemănător cu cel al camerei Wilson, iar diferența constă în aceea că corpul de lucru în camera cu bule este lichidul supraîncălzit: ionii, care apar de-a lungul traiectoriei mișcării particulelor devin centre de fierbere — se formează un șir din bule.

Contorul cu descărcare în gaze (fig. 41.6) și **camera de ionizare** (fig. 41.7) funcționează după același principiu: corpul de lucru — gazul — este amplasat într-un câmp electric cu tensiune înaltă; particula încărcată, care zboară prin gaz,

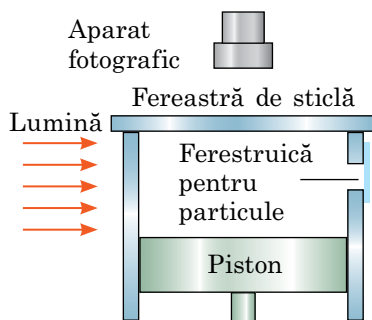


Fig. 41.4. Construcția camerei Wilson

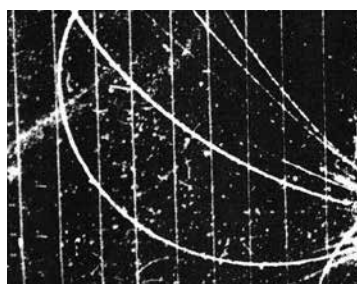


Fig. 41.5. Fotografia trecurilor particulelor încărcate în camera Wilson

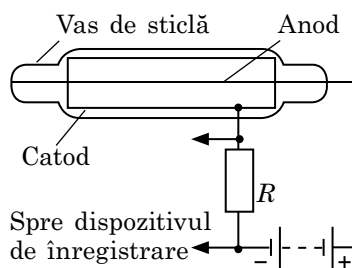



Fig. 41.6. Construcția contorului cu descărcare în gaze (contorul Geiger – Muller)



Fig. 41.7. Camera de ionizare

Îl ionizează și în dispozitiv are loc o descărcare în gaz. În unele camere de ionizare de-a lungul traiectoriei mișcării particulei se observă apariția fluxurilor — «aglomerărilor» de descărcări de gaze, de aceea astfel de camere sunt *detectori de trecuri*. În alte tipuri de camere de ionizare și în contoarele cu descărcare în gaze se fixează impulsurile de curent — aceștia sunt detectori de impulsuri. Anume de impulsuri sunt detectorii **dozimetrelor** — *dispozitive pentru măsurarea dozei de radiație ionizantă, primită de dispozitiv într-un anumit interval de timp*.

 Reprezentanții căror profesii trebuie neapărat să se folosească de dozimetre?

Ne învățăm să rezolvăm probleme

Problemă. În rezultatul absorbirii particulei α de către nucleul de Nitrogen ${}^{14}_7\text{N}$ se formează un element necunoscut și un proton. Scrieți reacția nucleară, determinați elementul necunoscut.

Analiza problemei fizice. Pentru rezolvarea problemei vom scrie reacția nucleară. În părțile stângă și dreaptă ale reacției sumele sarcinilor, la fel ca și sumele maselor trebuie să coincidă. Din egalitățile respective obținem numerele de sarcină și de masă ale elementului necunoscut.

Se dă:	<i>Rezolvarea.</i> Scriem reacția nucleară: ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\alpha \rightarrow {}^1_1\text{P} + {}^A_Z\text{X}$.
${}^{14}_7\text{N}$	Scriem suma maselor și suma sarcinilor pentru ambele părți ale ecuației reacției:
${}^4_2\alpha$	$14 + 4 = 1 + A$; $7 + 2 = 1 + Z$. Din egalitățile obținute avem: $A = 17$; $Z = 8$.
${}^1_1\text{P}$	După Sistemul periodic al elementelor chimice vom determina: elementul
${}^A_Z\text{X} - ?$	necunoscut — acesta este izotopul Oxigenului ${}^{17}_8\text{O}$.
	<i>Răspuns:</i> izotopul Oxigenului ${}^{17}_8\text{O}$.



Facem totalurile

- Se numește reacție nucleară interacțiunea nucleelor atomilor sau particulelor elementare cu nucleul, care are loc cu formarea particulelor, diferite de cele inițiale. În timpul reacțiilor nucleare, ca și în timpul oricăror fenomene, ce au loc în Univers sunt satisfăcute legile conservării: legea conservării sarcinii electrice, legea conservării impulsului, legea conservării energiei-masei.
- Datorită reacțiilor nucleare sunt obținuți izotopii radioactivi artificiali, care sunt utilizați în medicină, agricultură, energetică etc.
- Pentru înregistrarea și determinarea puterii radiației ionizate se utilizează straturi de fotoemulsii, contoare scintilatoare, camere cu bule, camere Wilson, camere de ionizare.
- Pentru măsurarea dozei radiației ionizate sunt utilizate dozimetrele.

Întrebări pentru control



1. Ce se numește reacție nucleară?
2. Cine și când a realizat prima reacție nucleară?
3. Care legi de conservare cunoscute se adevăresc în timpul reacțiilor nucleare?
4. Cine pentru prima dată a obținut izotopul radioactiv artificial?
5. Dați exemple de utilizare a izotopilor radioactivi naturali și artificiali.
6. Care dispozitive pentru măsurarea și înregistrarea radiației radioactive voi știți? Care principiu stă la baza funcționării acestor dispozitive?



Exercițiul nr. 41

1. Ce fel de detector — cu scintilații, cu trecuri sau cu impulsuri — este stratul de fotoemulsie?
2. În urma iradierii radionuclidului de $^{198}_{80}\text{Hg}$ cu neutroni se formează nuclee de $^{198}_{79}\text{Au}$. Scrieți ecuația reacției nucleare.
3. Reînnoiți ecuațiile reacțiilor nucleare.
 - 1) $^{19}_9\text{F} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^{16}_8\text{O} + ?$; 2) $^{27}_{13}\text{Al} + \alpha \rightarrow ^1_1\text{p} + ?$; 3) $^{55}_{25}\text{Mn} + ? \rightarrow ^{55}_{26}\text{Fe} + ^1_0\text{n}$.
4. În urma bombardării izotopului Nitrogenului $^{14}_7\text{N}$ cu neutroni s-a obținut izotopul β^- radioactiv de Carbon $^{14}_6\text{C}$. Scrieți ecuațiile ambelor reacții.
5. Determinați vârsta rămășițelor așezării antice (în mii de ani), dacă în lemnul descoperit pe locul săpăturilor, a rămas 12,5% din valoarea inițială de Carbon radioactiv $^{14}_6\text{C}$.
6. Se consideră că, din întreaga industrie nucleară, principalul beneficiu pentru omenire constă anume în utilizarea izotopilor radioactivi. Uniți-vă în echipe, alegeți-vă pentru fiecare echipă domeniul de aplicare al izotopilor radioactivi (medicină, știință, biologie etc.) și petreceți o discuție pe tema «Anume domeniul nostru nu poate fi lipsit de izotopi radioactivi».
7. Numiți cauzele, pentru care întotdeauna și independent de locul în care locuiți sunteți expuși la radiații.



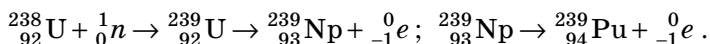
§ 42. REACȚIA ÎN LANȚ DE DEZINTEGRARE A NUCLEELOR DE URANIU. REACȚIILE TERMONUCLEARE



La sfârșitul anului 1938 a fost stabilit, că nucleul Uraniului (nucleu greu), absorbind un neutron, «crapă» — se împarte în două fragmente (în două nuclee mai ușoare). În ianuarie 1939, Enrico Fermi a atras atenția asupra faptului că, potrivit calculelor, *în timpul fisiunii nucleului de Uraniu trebuie să se formeze neutroni*, care pot fi din nou captați de nucleele Uraniului, de aceea *este posibilă reacția nucleară în lanț*. Să ne amintim, cum aceste două descoperiri au dus la crearea reactorului nuclear.

1 Fisiunea nucleelor grele și reacția nucleară în lanț

Studiind reacțiile nucleare, ați aflat că nucleul poate capta neutronul. În cele mai multe cazuri, aceasta duce la radioactivitate β^- : peste un anumit timp, unul dintre neutronii din interiorul nucleului se transformă într-un proton, un electron și un neutrino. Electronul și neutrino zboară din nucleu, iar noul nucleu are numărul de ordine, care este o unitate mai mare decât numărul de ordine a nucleului primar. Anume astfel s-au obținut elementele transuraniene, cum ar fi Neptuniul și Plutoniul:



Captarea unui neutron de către nucleul Uraniului poate duce, de asemenea, la alt rezultat: în urma captării neutronului, nucleul se excită și practic

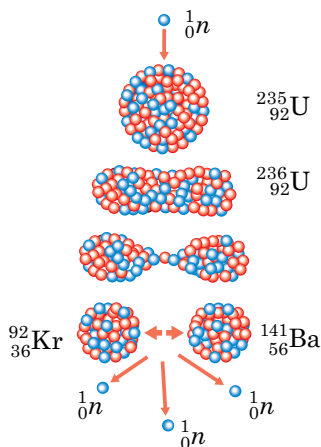


Fig. 42.1. Schema fisiunii nucleului de Uraniu. Absorbând neutronul, nucleul de Uraniu se excită și obține o formă alungită; treptat întinzându-se, nucleul nou instabil se descompune în două fragmente

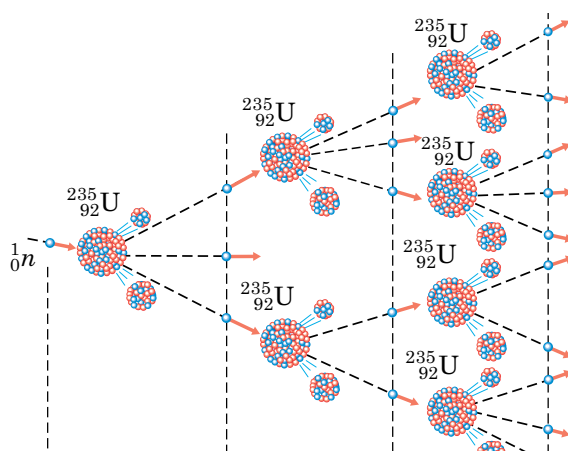


Fig. 42.2. Reprezentarea schematică a reacției nucleare în lanț: în timpul unui act de fisiune a nucleului de Uraniu se emit 2 sau 3 neutroni, ca rezultat și se dezvoltă reacția nucleară în lanț

instantaneu se descompune (se divide) în două fragmente (fig. 42.1). În timpul divizării nucleului de Uraniu, pe lângă fragmentele de divizare, se eliberează neutroni. Acești neutroni secundari pot provoca divizarea altor nuclee de Uraniu, care, la rândul lor, de asemenea emit neutroni capabili să cauzeze divizarea nucleelor următoare ș.a.m.d. Așadar, în mostra de uraniu, poate avea loc **reacția nucleară de fisiune în lanț**.

Dacă numărul de neutroni care intră în reacție va crește, atunci numărul de acte de divizare va crește într-o avalanșă (fig. 42.2) — va avea loc *explozia nucleară*. Dacă numărul nucleelor de Uraniu, care au intrat în reacție va fi menținut la unul și același nivel, atunci vom avea de afaceră cu o *reacție dirijată de fisiune nucleară în lanț*.

Reacția nucleară în lanț este însoțită de degajarea unei cantități enorme de energie, deoarece se formează nuclee cu o energie specifică de legătură mai mare: pentru nucleul de Uraniu-235 energia specifică de legătură este de circa 7,6 MeV/nucleon, iar pentru nucleele fragmentelor — elementelor din centrul Sistemului periodic al elementelor chimice — 8,5 MeV/nucleon. Așadar, în timpul fisiunii unui nucleu de Uranu-235 (conține 235 nucleoni) se degajă circa 200 MeV de energie: $\Delta E = (8,5 - 7,6) \cdot 235 \approx 200$ (MeV); $\Delta E = 3,2 \cdot 10^{-11}$ J.

Dacă se vor descompune toate nucleele, de exemplu, într-un mol de Uraniu-235 ($6,02 \cdot 10^{23}$ nuclee), atunci se va degaja energia $E = 3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \approx 2 \cdot 10^{13}$ (J). Aceasta este echivalent cu energia, care se degajă în timpul arderii a 2000 tone de lemne.

? Câte lemne trebuie arse, pentru a obține energia, care se degajă în timpul fisiunii 1 g de Uraniu (${}_{92}^{235}\text{U}$)?

2 Cum de realizat o reacție nucleară în lanț

Ipoteza lui E. Fermi cu privire la posibilitatea reacției nucleare în lanț a fost deodată acceptată de fizicieni, deși contrazicea faptelor: nimeni nu a văzut această reacție în uraniul natural. De ce totuși nu au văzut? Doar în

jurul nostru există întotdeauna o anumită cantitate de neutroni liberi (1000 de astfel de neutroni trec în fiecare secundă prin corpul uman), care pot intra în mostra de uraniu și pot provoca începutul reacției în lanț. În plus, studiile au arătat că, în timpul fisiunii a 100 de nuclee de Uraniu se degajă 242 de neutroni, ceea ce înseamnă că mostra de uraniu trebuie să explodeze aproape momentan. Acest lucru, totuși, nu se întâmplă.

Chestia constă în aceea, că uraniul natural constă în principal din doi radionuclizi: ${}^{235}_{92}\text{U}$ și ${}^{238}_{92}\text{U}$. Uraniul-235 se divide prin influența atât a neutronilor rapizi, cât și a celor lenți (mai bine sub influența celor lenți). Dar iată Uraniul-238 se divide sub influența doar a unei părți de neutroni rapizi (el aproape că nu captează neutronii lenți, iar 80% dintre neutronii rapizi le captează fără a se divide). În uraniul natural, 149 de nuclee din 150 sunt nuclee de Uraniu-238, iar majoritatea neutronilor eliberați în timpul fisiunii sunt rapizi, de aceea dacă ei și sunt captați de nucleele Uraniului -238, neutronii secundari aproape că nu apar.

Sperăm că v-ați priceput: pentru ca reacția totuși să aibă loc, trebuie de *îmbogățit uraniul natural cu izotopul de uraniu ${}^{235}_{92}\text{U}$ și (sau) de încetinit neutronii.*

Însă aceasta nu este totul. Chiar dacă de luat uraniu pur, care constă numai din nuclidul ${}^{235}_{92}\text{U}$, sau plutoniu pur (${}^{239}_{94}\text{Pu}$), nucleele căruia de asemenea se divid, capturând un neutron, atunci la o masă mică a mostrei reacția nucleară în lanț nu se efectuează, doar majoritatea neutronilor vor zbura din mostră, fără a se ciocni cu nucleul. Dacă se va mări masa mostrei, atunci numărul de neutroni, care intră în reacția de fisiune va crește și odată cu atingerea unei anumite mase critice va începe să se dezvolte reacția nucleară în lanț. Cea mai mică masă critică are mostra, confecționată sub formă de sferă (la volumul dat suprafața sferei este cea mai mică). De exemplu, cea mai mică masă critică pentru uraniul pur (${}^{235}_{92}\text{U}$) constituie circa 50 kg (sfera cu diametrul de 17 cm), iar pentru plutoniul pur (${}^{239}_{94}\text{Pu}$) — 11 kg (sfera cu diametru de 10 cm). Dacă două mostre de uraniu (${}^{235}_{92}\text{U}$), masa fiecărei dintre care fiind mai mică decât masa critică, se aduc în contact, atunci va avea loc o explozie nucleară foarte puternică.

3 Cum funcționează reactorul nuclear

Reacția de fisiune în lanț, care are loc în uraniu și în altele câteva elemente este baza pentru transformarea energie nucleare în cea termică și electrică. În timpul reacției în lanț permanent apar noi și noi fragmente de fisiune, care au o energie cinetică colosală. Dacă am scufunda în purtătorul de căldură o bară de uraniu, atunci fragmentele îi vor ceda lui energia sa. Ca urmare purtătorul de căldură se va încălzi. Anume astfel funcționează *reactorul nuclear*, în care energia nucleară se transformă în cea termică (fig. 42.3).

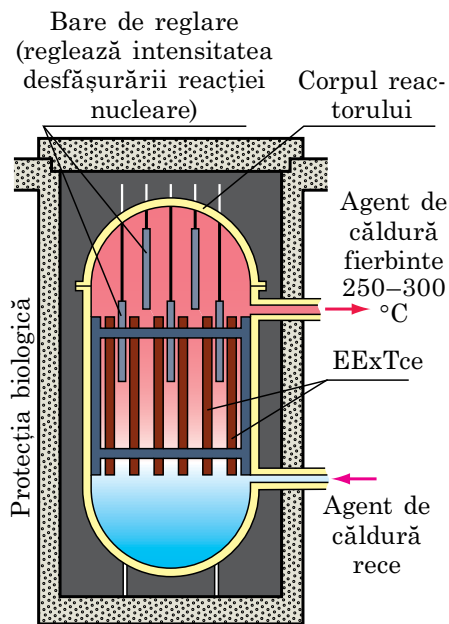


Fig. 42.3. Schema construcției reactorului nuclear

Reactorul nuclear — dispozitivul, destinat pentru realizarea reacției dirijate de fisiune în lanț, care întotdeauna este însoțită de degajarea energiei.

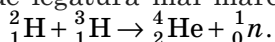
Reacția nucleară în lanț dirijată se desfășoară în zona activă a reactorului. EExTce (fig. 42.4) străpung toată zona activă a reactorului și sunt scufundate în *agentul de căldură*, care deseori servește în același timp ca *încetinitor de neutroni*. Produsele fisiunii încălzesc învelișurile EExTce, și ele transmit energia *purtătorului de căldură*.

Energia obținută se transformă ulterior în electrică (fig. 42.5) asemănător cu aceea, cum se întâmplă la centralele termoelectrice obișnuite.

Pentru a dirija reacția nucleară și a exclude probabilitatea exploziei, se folosesc *bare de reglare*, confecționate din material, care bine absorb neutronii. Astfel, dacă temperatura în reactor crește, barele în mod automat se scufundă în intervalele dintre EExTce-uri, ca rezultat cantitatea de neutroni ce intră în reacție scade și reacția în lanț este încetinită.

4 Reacții termonucleare

Studiind energia de legătură, voi ați stabilit, că degajarea energiei poate avea loc atât în timpul fisiunii nucleelor grele, cât și în timpul îmbinării (sintezei) unor nuclee ușoare. De exemplu, dacă de apropiat nucleele de Deuteriu ${}^2_1\text{H}$ și Tritiu ${}^3_1\text{H}$, atunci în urma combinării lor se va degaja 17,6 MeV de energie (3,5 MeV pe fiecare nucleon), deoarece se formează nucleul de Helium ${}^4_2\text{He}$ cu o energie specifică de legătură mai mare:



Reacția de îmbinare a nucleelor ușoare în nuclee mai grele, care are loc la temperaturi foarte înalte (peste 10^7 °C) și este însoțită de degajarea energiei se numește **sinteză termonucleară**.



Fig. 42.4. EExTc (element exotermic) – dispozitiv, în care se conține combustibilul nuclear (pastile de dioxid de uraniu (IV), îmbogățit cu izotopul ${}^{235}_{92}\text{U}$)

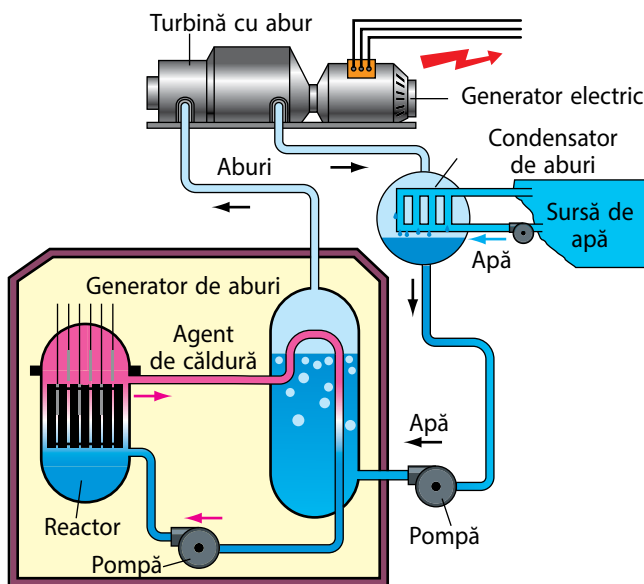


Fig. 42.5. Principiul de funcționare al centralei atomoelectrice

Temperaturile înalte, adică energiile cinetice mari ale nucleelor, sunt necesare pentru aceea, ca să fie învinse forțele de respingere electrică ale nucleelor. Fără aceasta este imposibil să se apropie nucleele ușoare la astfel de distanțe, la care încep să acționeze forțele nucleare de atracție.

În natură reacțiile termonucleare au loc în interiorul stelelor, unde diferiți nuclizi ai Hidrogenului se îmbină în nucleele atomilor de Helium. Astfel, pe contul reacțiilor termonucleare, ce au loc în interiorul Soarelui, el în fiecare secundă emite în spațiul cosmic $3,8 \cdot 10^{26}$ J de energie. Aceasta este o energie colosală — pentru a o obține trebuie să fie ars de mii de ori mai mult cărbune, decât sunt în toate rezervele cunoscute ale Pământului.

Reacțiile termonucleare — sursă de energie aproape nesecată. Fizicienii deja s-au învățat să creeze condiții pentru apariția unor astfel de reacții, dar iată aplicarea lor pe scară industrială până când rămâne la nivelul experimentelor. Cucerirea sintezei termonucleare s-a dovedit a fi cu mult mai complicată, decât părea la începutul cercetărilor. Însă fizicienii sunt convinși: viitorul energiei — după sinteza termonucleară.

5 Energetica atomică a Ucrainei

Ucraina aparține la acele țări din lume, în care datorită existenței tehnologiilor de performanță și a inginerilor și savanților de calificare înaltă este creată și funcționează cu succes industria energiei atomice. La ora actuală în țară funcționează patru centrale atomoelectrice: din Zaporijie, din Rivne, ucraineană de Sud, din Hmelnițk (fig. 42.6–42.9).

La CAE din Ucraina funcționează 15 blocuri atomoenergetice, puterea totală a cărora constituie 13 835 MW, ceea ce asigură mai mult de jumătate din necesitățile Ucrainei în energie electrică. CAE sunt deservite de către colective de mii de specialiști, care au o calificare înaltă. Practic în jurul fiecăreia dintre CAE ucrainene a crescut un orașel.

Existența surselor de energie electrică în Ucraina, care funcționează datorită combustibilului nuclear, fără dor și poate, atenuează deficitul tot mai mare al agenților energetici «tradiționali», care nu se restabilesc: al gazului, petrolului, cărbunelui.



Fig. 42.6. CAE Zaporizica – cea mai mare centrală atomoelectrică din Europa: 6 blocuri atomice energetice cu puterea de 1000 MW fiecare



Fig. 42.7. CAE Rivnenisica: 4 blocuri atomice energetice cu puterea totală de 2835 MW



Fig. 42.8. CAE Pivdenno-Ucrainsica: 3 blocuri atomice energetice cu puterea de 1000 MW fiecare



Fig. 42.9. CAE Hmelnițica: 2 blocuri atomice energetice cu puterea de 1000 MW fiecare

Fizica în cifre

În fiecare secundă:

$3,8 \cdot 10^{26}$ J de energie emite Soarele în mediul înconjurător.

■ $1,7 \cdot 10^{17}$ J de energie cade de la Soare pe Pământ.

■ $0,8 \cdot 10^{17}$ J de energie atinge suprafața Pământului.

✓ 10^{14} J de energie se acumulează de către plante în urma fotosintezei.

✓ 10^{13} J de energie (10 % din energia de fotosinteză) îi revine pământului arabil, fânașurilor, pășunelor.

✓ $0,5 \cdot 10^{13}$ J de energie consumă omul (adică el consumă jumătate din energia, acumulată de pământul arabil, fânașuri, pășuni).

**Facem totalurile**

• Absorbția neutronului de către nucleul de Uraniu poate cauza fisiunea nucleului. Această reacție este însoțită de eliberarea neutronilor, care se conțin în nucleu, iar aceștia la rândul lor, pot cauza fisiunea altor nuclee de Uraniu — va avea loc reacția nucleară în lanț, care este însoțită de degajarea energiei.

• Procesul de transformare a energiei nucleare în cea termică are loc în reactoarele nucleare — dispozitivele, destinate pentru realizarea reacției nucleare în lanț dirijate. Principalele componente ale reactorului nuclear: moderatorul de neutroni; agentul de căldură; sistemul de dirijare a reacției nucleare în lanț; sistemul de protecție.

• Cu degajarea energiei este însoțit și procesul de sinteză a nucleelor ușoare. O astfel de reacție a primit denumirea de termonucleară, deoarece pentru începutul ei este necesară o temperatură foarte înaltă.

• Astăzi în Ucraina funcționează patru centrale atomoelectrice cu puterea totală de 13 835 MW, ceea ce asigură mai mult de jumătate din necesitățile Ucrainei în energie electrică.

Întrebări pentru control

1. Ce fel de procese se petrec în urma absorbției neutronului de către nucleul de Uraniu? 2. Descrieți mecanismul reacției nucleare în lanț. 3. Oare poate avea loc reacția nucleară în lanț în uraniul natural? Argumentați răspunsul. 4. Cum este construit reactorul nuclear? Pentru ce sunt destinate elementele principale ale lui? 5. Cum funcționează centrala atomoelectrică? 6. De unde se «ia» energia stelei?

**Exercițiul nr. 42**

1. Care răspuns este corect? Cea mai mare parte din energia, care se degajă în timpul fisiunii nucleului de Uraniu îi revine: a) energiei cinetice a neutronilor eliberați; b) energiei radiației γ ; c) energiei cinetice a fragmentelor fisiunii; d) energiei neutrino, care se radiază o dată cu produsele fisiunii.
2. Cu cât în fiecare secundă se schimbă masa Soarelui, dacă puterea radiației lui constituie $3,8 \cdot 10^{26}$ W?
3. Cărei energii îi corespunde arderea în reactorul nuclear a 15 g de uraniu ($^{235}_{92}\text{U}$), dacă în rezultatul fisiunii unui nucleu se degajă 200 MeV de energie?
4. Puterea reactorului nuclear al spărgătorului de gheață — 80 000 kW. Într-o zi reactorul consumă 500 g de uraniu ($^{235}_{92}\text{U}$). Determinați randamentul reactorului.
5. Din deuteriu și tritiu în urma reacției termonucleare de sinteză s-a format 2 g de heliu. Ce energie s-a degajat în acest timp?
6. Aflați, ce experiențe au efectuat învățații, ce dispozitive au construit, care metode de obținere a plamei au descoperit, tinzând să creeze un reactor termonuclear.

§ 43. PARTICULE ELEMENTARE

Noi deja am amintit despre descoperiri «pe vârful peniței». Exemplu a unei astfel de descoperiri pentru oamenii, care au trăit în sec. XIX a fost descoperirea unei noi planete — Neptun. Mecanica cuantică și teoria relativității le-a dat fizicienilor în mâini «penița fermecătoare», permițând să preciză în masă existența a noi obiecte. Despre aceea, care particule elementare au fost descoperite de către fizicienii-teoreticieni și va merge vorba în acest paragraf.

1 Ce particule elementare mai sunt

La începutul sec. XX, explicând structura atomului, a nucleului lui, a proceselor dezintegrării radioactive și a reacțiilor nucleare, savanții operau în principal cu patru particule: electron, proton, neutron și foton. Însă natura le aducea savanților noi surprize. Astfel, pentru explicarea experiențelor legate cu iradierea protonilor cu neutroni a fost lansată ipoteza despre existența *mezonilor*. Această particulă a fost «inventată» de către fizicianul japonez *Hideki Iukavai* (1907–1981). Cercetările dezintegrării β l-au silit pe Wolfgang Ernest Pauli (1900–1958) în anul 1930 «să inventeze» particula-fantomă – *neutrino*. Dar iată depistarea experimentală a neutrinelui a avut loc peste douăzeci de ani.

În anul 1928 fizicianul englez Poli Andrien Dirac (1902–1984), rezolvând problema despre mișcarea electronului cu viteză apropiată de viteza luminii, a ajuns la concluzia, despre posibilitatea existenței în natură nu numai a electronului «obișnuit», dar și a antipodului lui — a antiparticulei electronului. Antiparticula electronului a primit denumirea de *pozitron*. Trăsătura distinctivă a pozitronului constă în aceea, că în cazul ciocnirii lui cu electronul «obișnuit» are loc *anihilarea* — particulele se transformă total în energie (dispar cu emitearea fotonilor). Deoarece toată masa a perechii electron-positron se transformă în fotoni, energia acestor fotoni este foarte mare. Observarea experimentală a pozitronului a avut loc tocmai peste câțiva ani după precizarea lui: în anul 1932 fizicianul american Carl David Anderson (1905–1991) în timpul studierii radiației cosmice a observat urma pozitronului în camera Wilson.

Pozitronul

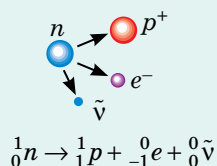
Pozitronul este antiparticula electronului

- Masa pozitronului este egală cu masa electronului, sarcina pozitronului după modul este egală cu sarcina electronului, dar este pozitivă.

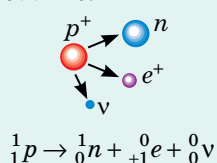
- Existența pozitronilor a fost prevăzută în anul 1928. În anul 1932 pozitronul a fost descoperit în compoziția razelor cosmice.

- Electronul (particula β^-) și pozitronul (particula β^+) se pot forma în interiorul nucleului:

✓ electronul se formează în urma transformării neutronului – în rezultat apare un proton, un electron și un antineutrino:



✓ pozitronul se formează în urma transformării protonului – în rezultat apare un neutron, un pozitron și un neutrino:



2 Cum de efectuat clasificarea particulelor elementare

După crearea în aa. 50 -60 ai sec. XX a unor acceleratoare puternice descoperirea a noi particule elementare a început să aibă loc foarte des. Pe de-o parte, aceasta a redus rolul fiecărei descoperiri noi, iar pe de alta — a apărut necesitatea sistematizării. A fost propusă cea mai simplă clasificare — repartizarea particulelor în ordinea măririi masei. «Lista totală» a particulelor elementare a fost împărțită în trei grupe.

În prima grupă este numai o particulă — *fotonul* cu masă nulă. În a doua grupă au intrat particulele relativ ușoare, care au fost numite *leptoni* (de la greces. *leptos* — ușor). Vă este cunoscut reprezentantul acestei grupe — electronul. A treia grupă de particule — a celor mai grele — a primit denumirea de *hadroni* (de la greces. *hadros* — mare, puternic). Apropo, acest termen a fost introdus de fizicianul sovietic *Lev Borisovici Ocuni* (1929–2015). Reprezentanții acestei grupe vă sunt bine cunoscuți — nucleonii.

❓ Dați exemple de diferite clasificări, cu care ați făcut cunoștință în timpul studierii științelor ale naturii. Care sunt principiile de construcție ale fiecăreia dintre ele?

Trebuie de menționat, că toate particulele, care poartă sarcină electrică, iau parte la *interacțiunea electromagnetică*. Purtătorii interacțiunii electromagnetice sunt fotonii. În interacțiunea slabă participă toate particulele elementare cu excepția fotonilor. La hadroni aparțin particulele, care afară de aceasta, sunt capabile la *interacțiuni tari*.

Se propun de asemenea și puțin altele clasificări ale particulelor elementare (vezi, de exemplu, [fig. 43.1](#)). Fără îndoială, că datorită Marelui accelerator de hadroni vor fi elaborate noi teorii și sisteme, mai desăvârșite de clasificare a particulelor elementare.

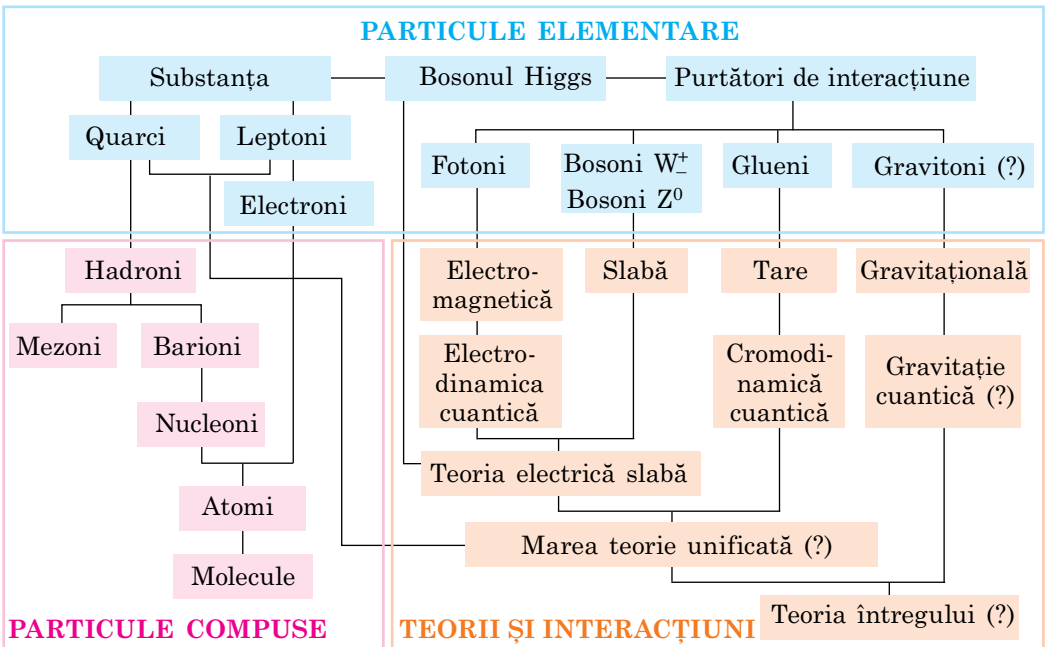


Fig. 43.1. Una dintre clasificările contemporane ale particulelor elementare

3 Ce sunt quarcii

În experiențele de studiere a împrăști-erii electronilor foarte rapizi de hadroni (și anume de protoni și neutroni) s-a stabilit, că cea mai mare parte a electronilor trec prin protoni și neutroni, fără a suferi abateri esențiale, iar o parte mică a lor se împrăștie pe niște centre. Acest rezultat este asemănător cu rezultatele experiențelor lui E. Rutherford de cercetare a împrăști-erii particulelor α în timpul trecerii prin atomi. Pentru explicarea acestor proprietăți ale hadronilor în a. 1964 a fost elaborat un model care a primit denumi-rea de *teoria quarcilor*. Autorii acestei teorii au fost savanții americani *Murray Gell-Mann* (fig. 43.2) și *George Zweig* (nasc. a. 1937).

Quarci savanții au numit trei particule elementare «adevărate», din care sunt construiți toți hadronii. Aceste particule au fost notate cu literele u , d și s (de la eng. *up* — în sus, *down* — în jos, *strange* — uimitor). Însă cu timpul a ieșit la iveală că trei quarci sunt insuficienți pentru explicarea proprietă-ților hadronilor. După aceasta în teorie au apărut *antiquarcii*. Apoi a apărut necesitatea explicării a pricinilor unirii quarcilor în hadroni. În conformitate cu concepțiile actuale, aceasta are loc cu ajutorul a mai un tip de particule — gluenilor (de la eng. *glue* — clei). În sfârșit cantitatea particulelor elementare «adevărate» din nou a crescut.

Neenumerând toate detaliile, atragem atenția numai la o particularitate a quarcilor: sarcina acestor particule nu este întregă (în unități de sarcină elementară), ci fracționară și este egală cu $+\frac{2}{3}e$ sau $-\frac{1}{3}e$, unde e sarcina elementară. De exemplu, sarcina quarcului d este egală cu $-1/3e$, a quarcului u este $+2/3e$, a quarcului s este egală cu $-1/3e$. Fiecare nucleon este compus din trei quarci: protonul — din doi quarci u și un quarc d ($p = uud$), neutro-nul — din doi quarci d și un quarc u ($n = udd$).

4 Ce urmează

În ciuda cantității mari de cunoștințe acumulate, fizica modernă este încă departe de a fi perfectă. Visul prețios al celor mai proeminenți fizicieni a fost și rămâne crearea unei teorii unice — așa-numitei «teorii a tuturor», cu ajutorul căreia s-ar fi putut explica toate fenomenele din Univers. Astfel, ultimul deceniu al vieții sale cu aceasta s-a ocupat Albert Einstein. Anumite succese în această direcție au fost deja realizate în ultimii ani: în fizica particulelor elementare a fost creat modelul Standard — teoria, care combină interacțiunile puternică, slabă și electromagnetică ale particulelor elementare. Astăzi, modelul Standard este în concordanță cu experimentele, iar recenta descoperire a bosonului Higgs este o confirmare strălucită a acestui lucru. Cu toate acestea, fizicienii încă nu pot explica natura materiei întunecate, originea particulelor cosmice de înaltă energie și multe altele. De aceea, savanții încearcă să depășească modelul Standard. Așadar așteptam noi descoperiri!

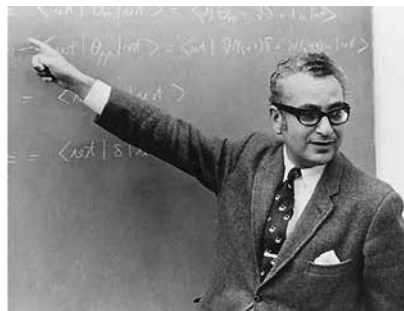


Fig. 43.2. Murray Gell-Mann (1929–1919), fizician american, laureat al Premiului Nobel pentru fizică pentru descoperirea sistemului de clasificare ale particulelor elementare. Unul dintre autorii teoriei quarcilor.



Facem totalurile

- Elaborările teoretice din domeniul mecanicii cuantice au permis prezicerea existenței a multe particule elementare (a pozitronului, neutrinului), care mai târziu au fost descoperite în rezultatul cercetărilor experimentale.
- Particulele elementare sunt împărțite în câteva grupuri, printre care: fotonul; leptonii; hadronii. La hadroni se referă particulele capabile de interacțiune tare, la leptoni — particulele, care nu sunt capabile de interacțiune tare.
- Pentru explicarea experiențelor, privind împrăștierea electronilor de mare energie de către hadroni (protoni și neutroni) a fost lansată ipoteza despre existența unui nou tip de particule elementare — quarcilor.



Întrebări pentru control

1. Ce se numește particulă elementară? 2. Care particulă se numește pozitron? Prin ce ea se deosebește de electron? Cine pentru prima dată a prezis și cine pentru prima dată a observat această particulă? 3. Care particule se numesc leptoni? 4. Care particule se numesc hadroni? 5. Ce sunt quarcii? Ce sarcini au quarcii? Numiți fondatorii teoriei quarcilor.

PROFESIILE VIITORULUI



Specialist în elaborarea nanotehnologiilor

Vă amintiți, ce înseamnă prefixul «nano»? Până nu demult, acest termen era folosit doar de un număr limitat de specialiști în fizica nucleară. Astăzi, informații despre noi nanomateriale se regăsesc în aproape fiecare ziar și chiar în reviste. Bineînțeles, domeniul de aplicare a nanomaterialelor numai se va lărgi, iar de specialiști în dezvoltarea nanotehnologiilor va fi nevoie încă mulți ani. Elaborarea nanomaterialelor și a tehnologiilor corespunzătoare necesită cunoștințe aproape din toate capitolele fizicii: mecanică, electricitate, termodinamică, fizică nucleară.

LUCRARE EXPERIMENTALĂ NR. 8

Tema. Modelarea dezintegrării radioactive.

Scopul: de a modela dezintegrarea radioactivă, de a verifica pe model legea dezintegrării radioactive.

Utilajul: 128 de monede identice, două pahare din hârtie (plastic), tavă, creioane (pixuri) colorate, hârtie milimetrică.



DESCRIEREA MODELULUI

Dezintegrarea unuia sau altuia nucleu — un eveniment întâmplător. Un eveniment la fel întâmplător este căderea «stemei» sau a «banului» la aruncarea monedei. De aceea pentru modelarea dezintegrării radioactive vom folosi un astfel de **model**.

Nucleele în mostra radionuclidului le vom modela prin monedele dintr-un păhar de hârtie: fie că nucleului, care nu s-a dezintegrat îi corespunde moneda, pe care cade «stema»; nucleului, care s-a dezintegrat, — moneda, pe care cade «banul». Atunci fiecare aruncare a grămezii de monede va corespunde perioadei de semidezintegrare $T_{1/2}$ (timpului, în care se dezintegrează jumătate din nucleele radionuclidului în mostră), iar numărul de aruncări n — cantității perioadelor de semidezintegrare, adică timpului t de observare: $t = nT_{1/2}$.

INDICAȚII LA LUCRARE

*Respectați strict instrucțiunile tehnicii securității (vezi forzațul).
Rezultatele măsurătorilor și calculelor introduceți-le deodată în tabel.*

II Pregătirea pentru experiment

1. Pregătiți trei tabele — una pentru fiecare serie de aruncări (vezi exemplul).
2. Puneți în păharul de hârtie 128 de monede.

▶ Experiență

1. Amestecați monedele în păharul de hârtie și răsturnați-le pe tavă (fig.1). Numărați cantitatea de monede pe care a căzut «stema» (adică numărul de nuclee, care nu s-au dezintegrat) și puneți-le în păhar. Monedele pe care a căzut «banul» (adică nuclee, care s-au dezintegrat), puneți-le în alt păhar și lăsați-l deoparte.
2. Amestecați monedele pe care a căzut «stema», turnați-le pe tavă și numărați din nou cantitatea de monede pe care a căzut «stema». Repetați această experiență până când nu va rămânea o monedă cu «stemă», dar nu mai mult de 6 ori. (Astfel, de tot voi trebuie să faceți maxim 8 aruncări.)
3. Repetați seria de aruncări (acțiunile descrise la punctele 1–2) încă de 2 ori.
Seria de aruncări _____ (culoarea graficului _____)



Fig. 1

Numărul de aruncări n	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Numărul de «nuclee», care nu s-au dezintegrat, N	128								
Numărul de «nuclee», care s-au dezintegrat, N'	—								

▶ Prelucrarea rezultatelor experimentului

1. Pe hârtie milimetrică, pentru fiecare serie de aruncări, construiți cu culoare corespunzătoare graficul dependenței $N(n)$ — a dependenței numărului de nuclee N care nu s-au dezintegrat, de numărul de aruncări (exemplul unui astfel de grafic vezi în fig. 2).
2. Pe aceleași axe pentru fiecare serie de aruncări, construiți graficul funcției $N = N_0 \cdot 2^{-n}$, care exprimă legea dezintegrării radioactive (considerați, că cantitatea inițială a nucleelor radionuclidului $N_0 = 128$).

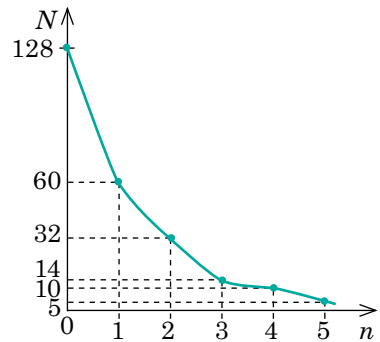


Fig. 2

Analiza experimentului și a rezultatelor lui

După rezultatele experimentului, formulați concluzia, în care să explicați, de ce graficele construite nu coincid. Este aceasta o legitate sau este folosit un model imperfect? Oare pot avea loc ambele pricini?

Însărcinare creativă

Stabiliți, cum va influența asupra calității modelului procesului de dezintegrare radioactivă aplicat în lucrare, mărirea numărului de monede de 3 ori; micșorarea numărului de monede de 3 ori.

LUCRARE EXPERIMENTALĂ NR. 9

Tema. Cercetarea trecurilor particulelor încărcate după fotografii.

Scopul: de a se învăța a analiza fotografiile cu reprezentarea trecurilor particulelor încărcate, obținute cu ajutorul camerei Wilson, și de a identifica aceste particule.

Utilajul: fotografia trecurilor particulelor încărcate, foaie de hârtie de calc, echer.

INDICAȚII LA LUCRARE

Respectați strict instrucțiunile tehnicii securității (vezi forțașul).

Rezultatele măsurătorilor și calculelor introduceți-le deodată în tabel.

Pregătirea pentru experiment

1. Amintiți-vă cum se determină modulul și direcția forței, cu care câmpul magnetic acționează asupra particulei încărcate mobile (forței Lorentz).
2. Treceți trecurile I și II (fig. 1) pe hârtia de calc (toate notațiile, imaginile și construcțiile necesare trebuie de le îndeplinit anume pe ea).

Experiență

1. Examinați fotografia trecurilor particulelor încărcate obținute cu ajutorul camerei Wilson (fig. 1):
 - 1) indicați direcțiile vitezelor inițiale ale particulelor I și II, cărora le corespund trecurile I și II;
 - 2) aflați cum se schimbă grosimea fiecărui trec – de la începutul până la sfârșitul parcursului particulei.



Fig. 1

2. Știind, că particula I este identificată ca proton și că ambele particule se mișcă perpendicular pe vectorul inducției magnetice al câmpului magnetic creat în cameră, determinați:
 - 1) semnul sarcinii particulei II;
 - 2) direcția vectorului inducției magnetice.
3. Ținând cont de scară, determinați razele R_I și R_{II} ale trecurilor la începutul parcursului particulelor, pentru care (vezi fig. 2):
 - 1) pe imaginea trecutului trasați două coarde;
 - 2) duceți perpendicularele medii la fiecare coardă și notați punctul O de intersecție a acestor perpendiculare;
 - 3) măsurați distanța R de la punctul O până la începutul trecutului (raza de curbură).

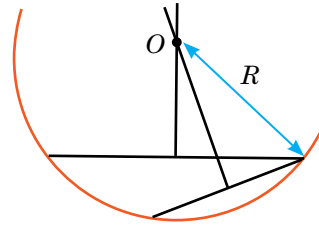


Fig. 2

Numărul particulei	Forma trecutului	Variația grosimii trecutului	Raza de curbură a trecutului R , m	Semnul sarcinii particulei	Sarcina specifică $\frac{q}{m}$, C/kg	Denumirea particulei
I						
II						

▶ Prelucrarea rezultatelor experimentului

Conform datelor tabelului «Sarcina specifică a unor particule» (vezi Anexa 1), determinați sarcina specifică a particulei I.

2. Calculați sarcina specifică a particulei II după formula: $\frac{q_{II}}{m_{II}} = \frac{q_I}{m_I} \cdot \frac{R_I}{R_{II}}$.
3. Cunoscând sarcina specifică a particulei II, identificați-o: determinați, nucleul cărui element este această particulă.

□ Analiza experimentului și a rezultatelor lui

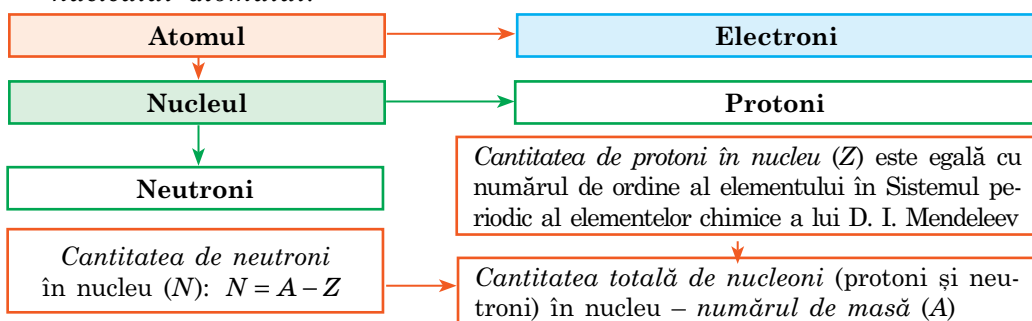
După rezultatele experimentului, formulați concluzia.

+ Însărcinare creativă

Efectuați măsurători suplimentare și determinați, de câte ori s-a micșorat energia cinetică a protonului în timpul parcursului în camera Wilson.

FACEM TOTALURILE CAPITOLULUI IV «FIZICĂ ATOMICĂ ȘI NUCLEARĂ»

1. Voi v-ați amintit *structura atomului* și a *modelului protono-neutronic al nucleului atomului*.



2. Voi ați făcut cunoștință cu postulatele lui Bohr și ați aflat, că în atom există stări staționare speciale, în care el nu radiază energie, iar *orice radiație de către atom a cuantei de energie este legată de trecerea lui dintr-o stare energetică superioară în cea inferioară*: $h\nu = E_1 - E_2$.
3. V-ați amintit, că nucleonii în nucleu sunt reținuți de *forțele nucleare*, și ați aflat, că pentru dezintegrarea completă a nucleului în nucleoni separați este necesar de consumat energie, care se numește *energie de legătură a nucleului atomului* (E_{leg}):

$$E_{\text{leg}} = \Delta mc^2, \text{ sau } E_{\text{leg}} = \Delta mk \quad \left(k = 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{u.a.m}} \right)$$

Aici $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{nuc}} = Zm({}_1^1\text{H}) + (A - Z)m_n - m_{\text{at}}$ – defectul de masă.

4. Ați aflat, că *energia specifică de legătură a nucleului atomului*: $f = \frac{E_{\text{leg}}}{A}$ – depinde de cantitatea de nucleoni în nucleu, de aceea în timpul fuziunii nucleelor supraușoare (reacția de sinteză) și a fisiunii nucleelor grele se degajă energie.
5. Ați clarificat, că unii izotopi ai elementelor chimice sunt capabili să se transforme spontan în nucleele altor elemente cu iradierea microparticulelor, ați făcut cunoștință cu *legea fundamentală a dezintegrării radioactive*: $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$.
6. V-ați amintit despre diferite feluri de *radiație radioactivă*, ați stabilit natura lor și ați aprofundat cunoștințele voastre despre *regulile deplasării*.

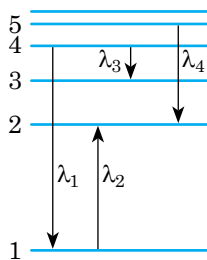
Radiația radioactivă				
Tipul	Natura	Sarcina	Viteza	Regula deplasării
Radiația α	Nucleele atomilor de Helium	$+2e$	Circa 10 000 km/s	${}_Z^A\text{X} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{Z-2}^{A-4}\text{Y}$
Radiația β^-	Electroni	$-e$	Circa 300 000 km/s	${}_Z^A\text{X} \rightarrow {}_{-1}^0\text{e} + {}_{Z+1}^A\text{Y}$
Radiația β^+	Pozitroni	$+e$	Circa 300 000 km/s	${}_Z^A\text{X} \rightarrow {}_{+1}^0\text{e} + {}_{Z-1}^A\text{Y}$
Radiația γ	Unde electromagnetice	Lipsește	300 000 km/s (viteza luminii)	—



ÎNSĂRCINĂRI PENTRU AUTOVERIFICARE LA CAPITOLUL IV «FIZICĂ ATOMICĂ ȘI NUCLEARĂ»

Însărcinarea 1. Atomul de Hidrogen în timpul trecerii dintr-o stare energetică în alta a emis un foton.

- (1 bal) Care dintre trecerile reprezentate în figură corespunde radiației fotonului?
a) λ_1 ; б) λ_2 ; в) λ_3 ; г) λ_4 .
- (2 baluri) În care dintre trecerile reprezentate în figură atomul emite sau absoarbe un foton de frecvență mai mare?
a) λ_1 ; б) λ_2 ; в) λ_3 ; г) λ_4 .
- (2 baluri) Determinați lungimea de undă a fotonului cu energia de 2 eV.
- (3 baluri) Determinați, folosind modelul planetar al atomului, care vor fi forțele de atracție coulombiană și de gravitație, care acționează între electron și nucleul atomului de Hidrogen ${}^1_1\text{H}$. Considerați, că raza atomului – $5 \cdot 10^{-11}$ m.



Însărcinarea 2. Particula α zboară din mostra radioactivă, care conține 10^{-12} moli de Radon-220.

- (1 bal) Pe baza experiențelor cu particule α E. Rutherford:
a) a propus modelul proton-neutronic al nucleului atomului;
b) a explicat fenomenul radioactivității;
c) a explicat mecanismul reacției nucleare în lanț;
d) a propus modelul nuclear al structurii atomului.
- (2 baluri) Care nucleu s-a format în rezultatul dezintegrării α a nucleului de Radon ${}^{220}_{86}\text{Rn}$?
a) ${}^{222}_{82}\text{Pb}$; б) ${}^{216}_{84}\text{Po}$; в) ${}^{222}_{85}\text{At}$; г) ${}^{222}_{87}\text{Fr}$.
- (3 baluri) Câte nuclee de Radon vor rămâne în mostră peste 280 s? Considerați, că perioada de semideintegrare a Radonului-220 este egală cu 56 s.

Însărcinarea 3. Fosforul ${}^{30}_{15}\text{P}$ pentru prima dată a fost obținut de soții Joliot-Curie prin iradierea aluminiului (${}^{27}_{13}\text{Al}$).

- (1 bal) Câți neutroni conține nucleul atomului de Aluminiu ${}^{27}_{13}\text{Al}$?
a) 13; б) 14; c) 27; d) 40.
- (2 baluri) Fosforul ${}^{30}_{15}\text{P}$ este β^+ radioactiv. Care particulă se formează în timpul dezintegrării nucleului lui?
a) electronul; б) neutronul; c) protonul; d) pozitronul.
- (3 baluri) Care este energia de legătură a nucleului de Fosfor ${}^{30}_{15}\text{P}$?

Însărcinarea 4. În urma fisiunii unui nucleu de Uraniu ${}^{235}_{92}\text{U}$ în două fragmente se degajă aproximativ 200 MeV de energie.

- (1 bal) Ce particule zboară din nucleul de Uraniu în timpul fisiunii date?
a) electroni; б) neutroni; c) protoni; d) particule α .
- (2 baluri) Câtă masă se transformă în energie în timpul unei fisiuni?
a) $\approx 0,2$ u. a. m.; б) $\approx 4,1$ u. a. m.; c) ≈ 19 u. a. m.; d) ≈ 38 u. a. m.
- (2 baluri) Câtă energie se degajă în timpul «arderii» în reactorul nuclear a 19 g de acest izotop?

Confrunțați răspunsurile voastre cu cele indicate la sfârșitul manualului. Notați însărcinările, pe care le-ați efectuat corect și calculați suma balurilor. Împărțiți această sumă la doi. Numărul obținut va corespunde nivelului atins de voi la învățatură.

TEMELE ORIENTATIVE ALE PROIECTELOR, REFERATELOR ȘI COMUNICĂRILOR, CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE

Capitolul I. Electrodinamica

Temele proiectelor

1. Influența curentului electric asupra vitezei fotosintezei.
2. Particularitățile circuitelor electrice cu diodă semiconductoare.
3. Electroconductivitatea diferitelor substanțe și materiale.
4. Master-clasă pentru elevii claselor primare «Surse de energie electrică din mijloace ce stau la îndemână. Caracteristicile acestor surse».
5. Argumente și fapte, care mărturisesc despre necesitatea cunoașterii noțiunilor de bază și a legilor electrodinamicii pentru medici, specialiști IT, avocați, economiști.
6. Electrodinamica miraculoasă: simplu despre compus.

Temele referatelor și comunicărilor

1. Efectele curentului electric asupra corpului uman.
2. Mijloace de protecție împotriva șocurilor electrice.
3. Cauzele unui șoc electric.
4. Surse actuale de curent electric și caracteristicile lor.
5. A patra stare de agregare a substanței și caracteristicile ei.
6. Avantajele și dezavantajele electrolizei în industrie.
7. Electricitatea în lumea animalelor.
8. Istoria descoperirilor, care au cauzat dezvoltarea electrodinamicii.
9. Fapte interesante din viața savanților – cercetătorilor în domeniul electricității.
10. Aplicarea în practică a legii inducției electromagnetice.
11. Luarea în considerare a autoinducției în circuitele electrice.
12. Utilizarea câmpurilor magnetice în medicină.
13. Ipoteze despre natura fulgerului cu bile.
14. Influența câmpului magnetic al Pământului asupra sănătății omului. Zonele geopatogene.
15. Ziua internațională a femeilor și fetelor în știință: istoria apariției.

Temele cercetărilor experimentale

1. Calcularea șunturilor și a rezistențelor suplimentare pentru rezolvarea anumitor probleme ale electrodinamicii.
2. Cercetarea proprietăților specifice ale trecerii p - n .
3. Determinarea echivalentului electrochimic al substanței.
4. Cercetarea fenomenului de inducție electromagnetică.

Capitolul II. Oscilații și unde electromagnetice

Temele proiectelor

1. Transformatoarele și transmiterea energiei.
2. Construirea modelului sistemului energetic al Ucrainei.

3. Particularitățile emisieі și recepției undelor electromagnetice.
4. Rolul undelor electromagnetice în viața de toate zilele a omului.
5. Training pentru elevii claselor primare «Regulile de securitate, pe care trebuie să le știe și să le îndeplinească fiecare».

Темеle referatelor și comunicărilor

1. Utilizarea undelor electromagnetice în tehnică.
2. Prioritățile și dificultățile utilizării surselor regenerabile de energie.
3. Resursele energetice ale Ucrainei. Perspectivele dezvoltării energeticii alternative în Ucraina.
4. Utilizarea undelor electromagnetice în medicină.
5. Procesele, care apar în țesuturile corpului uman sub influența undelor electromagnetice.
6. Influența câmpurilor electromagnetice ale aparatelor de uz casnic asupra corpului uman.
7. Istoria creării cuptorului cu microunde.
8. Comunicația actuală prin satelit. Sisteme prin sateliți.
9. Oare omenirea ar fi fără valoare fără descoperirile științifice făcute de femei?

Темеle cercetărilor experimentale

1. Cercetarea proceselor, care apar în timpul rotirii unui cadru metalic în câmp magnetic.
2. Obținerea oscilațiilor electromagnetice libere în conturul oscilant și determinarea parametrilor, de care depinde frecvența lor.
3. Cercetarea proprietăților undelor electromagnetice.

Capitolul III. Optica

Темеle proiectelor

1. Master-clasă pentru elevii claselor primare «Fenomene optice în natură».
2. Telegraful optic al lui Claude Chappe.
3. Aplicarea interferenței în tehnică.
4. Utilizarea difracției în practică.
5. Expoziție foto «Interferența și difracția în jurul nostru».
6. 10 experimente din optică pentru webinarul «Știință neplictisitoare».

Темеle referatelor și comunicărilor

1. Dezavantaje ale sistemului optic al ochiului.
2. Mecanisme de percepție a culorilor.
3. Mecanisme de protecție a fotoreceptorilor și fenomenul de adaptare.
4. Metodele de difracție pentru studierea structurii substanței.
5. Linii de comunicații cu fibră optică. Exemple de funcționare a rețelelor cu fibre optice.
6. Navigatorul: principiul de funcționare și funcțiile de bază.
7. 10 fapte interesante despre fenomenele optice.
8. Femeile în știință.

Temele cercetărilor experimentale

1. Determinarea rezoluției ochiului uman.
2. Verificarea experimentală a legilor reflexiei luminii cu ajutorul mijloacelor ce stau la îndemână.
3. Determinarea puterii optice a lentilei din ochelari.
4. Influența filtrelor de lumină asupra figurii de difracție.

Capitolul IV. Fizică atomică și nucleară

Temele proiectelor

1. Bazele fizice ale funcționării imprimantei laser.
2. Perspectivele utilizării supraconductibilității.
3. Compunerea hărții de radioactivitate a regiunii.
4. Analiza radiologică a produselor alimentare locale.
5. Sărbătoarea Zilei științei în școală.

Temele referatelor și comunicărilor

1. Mecanisme biofizice de acțiune a radiațiilor ionizante asupra celulei.
2. Consecințele ecologice ale utilizării iresponsabile a energiei atomice.
3. Influența factorului uman asupra accidentelor la centralele nucleare.
4. Utilizarea radionuclizilor în medicină.
5. Tomografia computerizată cu raze Röntgen și tipurile ei.
6. Urmările de termen lung ale expunerii la radiații.
7. Influența radiației laser asupra organismelor și aplicarea ei în medicină.
8. Femei – Laureate ale Premiului Nobel pentru Fizică.
9. Povestiri instructive din viața fizicienilor.
10. Principalele direcții ale progresului tehnico-științific.
11. Energia atomică a Ucrainei.
12. Fapte interesante din viața primei femei, care a fost distinsă cu Premiul Nobel.

Temele cercetărilor experimentale

Observarea spectrelor continuu și de linii ale substanței.

ANEXA 1

Tabelul 1

Unele constante fizice fundamentale

Constanta gravitațională	$G = 6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
Constanta electrică (permitivitatea electrică a spațiului liber)	$\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
Constanta magnetică	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} = 12,5664 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$
Constanta lui Planck	$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
Constanta lui Avogadro	$N_A = 6,0221 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$
Constanta lui Boltzmann	$k = 1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Constanta universală a gazelor	$R = 8,3145 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$
Constanta lui Faraday	$F = 9,6485 \cdot 10^4 \text{ C/mol}$
Viteza de propagare a luminii în vid	$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Sarcina elementară	$e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Masa electronului	$m_e = 9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ u.a.m.}$
Masa neutronului	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,00866 \text{ u.a.m.}$
Masa protonului	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,00728 \text{ u.a.m.}$
Unitate atomică de masă	$1 \text{ u.a.m.} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Tabelul 2

Prefixe pentru formarea denumirilor unităților multiple și submultiple

Prefixul	Simbolul	Coeficientul	Prefixul	Simbolul	Coeficientul
tera-	T	10^{12}	centi-	c	10^{-2}
giga-	G	10^9	mili-	m	10^{-3}
mega-	M	10^6	micro-	μ	10^{-6}
kilo-	k	10^3	nano-	n	10^{-9}
hecto-	h	10^2	pico-	p	10^{-12}
deci-	d	10^{-1}	femto-	f	10^{-15}

Tabelul 3

Rezistența specifică ρ [$\times 10^{-8} \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ sau $\times 10^{-2} \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$] la $20 \text{ }^\circ\text{C}$ și coeficienții termici ai rezistenței ale unor metale și aliaje

Substanța	ρ	$\alpha, \text{ K}^{-1}$	Substanța	ρ	$\alpha, \text{ K}^{-1}$
Aluminiu	2,8	0,004	Nicrom	110	0,0001
Wolfram	5,5	0,005	Plumb	21	0,004
Alamă	7,1	0,001	Argint	1,6	0,004
Cupru	1,7	0,004	Oțel	12	0,006
Nichelină	42	0,0001			

Tabelul 4

Echivalenții electrochimici k , $\frac{\text{mg}}{\text{C}}$

Aluminiu (Al^{3+})	0,09	Cupru (Cu^+)	0,66	Argint (Ag^+)	1,12
Hidrogen (H^+)	0,01	Cupru (Cu^{2+})	0,33	Clor (Cl^-)	0,37
Fier (Fe^{3+})	0,19	Sodiu (Na^+)	0,24	Crom (Cr^{3+})	0,18
Oxigen (O^{2-})	0,08	Nichel (Ni^{2+})	0,30	Zinc (Zn^{2+})	0,34

Tabelul 5

Lucrul de ieșire al electronilor, eV

Wolfram	4,5	Platină	5,3
Kaliu	2,2	Argint	4,3
Litiu	2,4	Zinc	4,2
Oxid de Bariu	1,0		

Tabelul 6

Masa unor nuclizi, u. a. m.

Izotopul	Masa atomului neutru	Izotopul	Masa atomului neutru
^1_1H Hidrogen	1,00783	$^{10}_5\text{B}$ Bor	10,01294
^2_1H Deuteriu	2,014 10	$^{12}_6\text{C}$ Carbon	12,00000
^3_1H Tritiu	3,01605	$^{14}_7\text{N}$ Azot	14,00307
^3_2He Heliu	3,01602	$^{16}_8\text{O}$ Oxigen	15,99491
^4_2He Heliu	4,00260	$^{17}_8\text{O}$ Oxigen	16,99913
^6_3Li Litiu	6,01513	$^{27}_{13}\text{Al}$ Aluminiu	26,98146
^7_3Li Litiu	7,01601	$^{30}_{15}\text{P}$ Fosfor	29,97831
^8_4Be Beriliu	8,00531	$^{238}_{92}\text{U}$ Uraniu	238,05079

Tabelul 7

Sarcina specifică a unor particule

Particula	Sarcina specifică $\frac{q}{m}$, $\frac{\text{C}}{\text{kg}}$
Electron	$1,759 \cdot 10^{11}$
Proton	$9,578 \cdot 10^7$
Particula α	$4,822 \cdot 10^7$

ANEXA 2

ERORILE MĂSURĂTORILOR

1. Erorile aleatorii și sistematice

Diferența dintre valoare măsurată și cea reală a mărimii măsurate se numește **eroare a măsurătorii**.

Erorile în timpul măsurătorilor mărimilor fizice se împart în două feluri: *întâmplătoare* și *sistematice*.

Erorile aleatorii sunt legate de *procesul de măsurare*.

Valoarea cea mai mult probabilă a mărimii măsurate ($x_{m\grave{a}s}$) este egală cu media aritmetică a valorilor, obținute în rezultatul măsurărilor:

$$x_{m\grave{a}s} = x_{med} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N},$$

unde N — numărul de măsurători ale mărimii x ; x_1, x_2, \dots, x_N — rezultatele măsurătorii a 1-a, a 2-a, ..., N -a.

Eroarea aleatorie absolută (Δx_{aleat}) se determină după formula:

$$\Delta x_{aleat} = \frac{|x_1 - x_{m\grave{a}s}| + |x_2 - x_{m\grave{a}s}| + \dots + |x_N - x_{m\grave{a}s}|}{N}.$$

Dacă măsurarea se efectuează o singură dată, atunci se consideră, că eroarea aleatorie absolută este egală cu jumătate din valoarea diviziunii scării dispozitivului.

Erorile sistematice sunt determinate de calitatea dispozitivului - de clasa lui, de aceea ele deseori sunt numite *erori ale dispozitivului* sau *erori instrumentale*.

Erorile absolute instrumentale ale unor aparate sunt indicate în tabel.

Nr.	Aparatul de măsură	Valoarea diviziunii scării	Eroarea absolută instrumentală
1	Riglă școlară (demonstrativă)	1 mm (1 cm)	± 1 mm ($\pm 0,5$ cm)
2	Bandă de măsurat	0,5 cm	$\pm 0,5$ cm
3	Șubler	0,1 mm	$\pm 0,05$ mm
4	Micrometru	0,01 mm	$\pm 0,005$ mm
5	Cronometru	0,2 s	± 1 s în 30 min
6	Balanță școlară	–	$\pm 0,01$ g
7	Dinamometru școlar	0,1 N	$\pm 0,05$ N
8	Termometru de laborator	1 °C	± 1 °C
9	Ampermetru școlar	0,1 A	$\pm 0,05$ A
10	Voltmetru școlar	0,2 V	$\pm 0,15$ V

2. Determinarea erorilor absolută și relativă a măsurătorilor directe

Pentru a aprecia corect precizia experienței, este necesar de luat în considerație atât eroarea sistematică, cauzată de aparat (Δx_{ap}), cât și eroarea aleatorie (Δx_{aleat}), cauzată de erorile măsurătorilor. Eroarea sumară se numește eroare absolută a măsurătorilor (Δx) și se determină după formula:

$$\Delta x = \Delta x_{ap} + \Delta x_{aleat}.$$

Eroarea relativă ε_x caracterizează calitatea măsurătorilor și este egală cu raportul erorii absolute (Δx) către valoarea medie (măsurată) a mărimii măsurate ($x_{\text{măs}}$):

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{măs}}}, \text{ sau în procente: } \varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{măs}}} \cdot 100\% .$$

Uneori se efectuează experimentul pentru a determina corectitudinea unei egalități oarecare (de exemplu, $X = Y$). Dacă într-un astfel de experiment e greu de stabilit eroarea, atunci eroarea relativă de confirmare experimentală a egalității $X = Y$ se calculează după formula:

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{X}{Y} \right| \cdot 100\% .$$

3. Cum de scris corect rezultatul măsurării

Eroarea absolută a experimentului determină precizia, cu care are sens să se calculeze mărimea măsurată.

Eroarea absolută totdeauna se rotunțește până la o cifră semnificativă cu supraestimare iar rezultatul măsurătorii se rotunțește până la mărimea ordinului, care a rămas în eroarea absolută după rotunjire.

Rezultatul final pentru valoarea mărimii x se notează sub forma:

$$x = x_{\text{măs}} \pm \Delta x$$

unde $x_{\text{măs}}$ — valoarea medie (măsurată).

Această formulă înseamnă, că valoarea adevărată a mărimii măsurate se conține în intervalul dintre $x = x_{\text{măs}} - \Delta x$ și $x = x_{\text{măs}} + \Delta x$ (fig. 1). Eroarea absolută Δx e primit să se considere o mărime pozitivă, de aceea $x = x_{\text{măs}} + \Delta x$ — *valoarea maximă probabilă* a mărimii măsurate, iar $x = x_{\text{măs}} - \Delta x$ — *valoarea minimă probabilă* a mărimii măsurate.

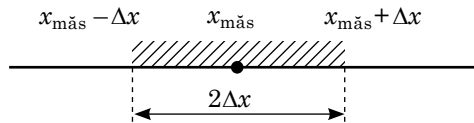


Fig. 1

Vom aduce un *exemplu*. A fost măsurată accelerația căderii libere (g). După prelucrarea datelor experimentale obținute a fost aflată valoarea medie: $g_{\text{măs}} = 9,736 \text{ m/s}^2$. Pentru eroarea absolută s-a obținut: $\Delta g = 0,123 \text{ m/s}^2$. Eroarea absolută trebuie rotunjită până la o cifră semnificativă, cu o supraestimare: $\Delta g = 0,2 \text{ m/s}^2$. Atunci rezultatul măsurătorii se rotunțește până la același ordin ca și ordinul erorii, adică până la zecimi: $g_{\text{măs}} = 9,7 \text{ m/s}^2$.

Răspunsul după totalurile experienței urmează să fie exprimat sub forma: $g = (9,7 \pm 0,2) \text{ m/s}^2$, totodată valoarea reală a accelerației căderii libere se conține în intervalul $[9,5; 9,9] \text{ m/s}^2$ (fig. 2). Deoarece valoarea tabelară a accelerației căderii libere ($g_{\text{tab}} = 9,8 \text{ m/s}^2$) aparține acestui interval, atunci se spune, că *rezultatele obținute au coincis cu cele tabelare în limitele erorii de măsurare*.

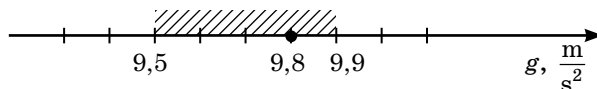


Fig. 2

4. Metoda grafică de prelucrare a rezultatelor

Uneori prelucrarea rezultatelor experimentului poate fi substanțial ușurată, dacă ele se prezintă sub formă de un grafic. Să presupunem, că este necesar de măsurat rigiditatea arcului. S-a hotărât să se folosească formula: $k = \frac{F_{el}}{x}$.

Pentru obținerea unui rezultat cât mai precis s-a măsurat alungirea resortului pentru diferite valori ale forței elastice și au fost obținute următoarele rezultate:

F_{el} , N	0,0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8
x , m	0,0	0,022	0,040	0,068	0,090	0,101	0,123	0,150

Vom construi graficul, depunând pe axa ordonatelor valorile forței elastice, iar pe axa absciselor – valorile corespunzătoare lor a alungirii resortului (fig. 3). Vom nota cu cruciulițe datele experimentale indicate în tabel.

Deoarece coeficientul de rigiditate nu depinde de alungirea arcului, graficul dependenței plonjorului F_{el} de x trebuie să aibă forma unei linii drepte, care trece prin originea coordonatelor. Trasăm această linie astfel încât, pe ambele părți de ea, să existe aproximativ același număr de cruciulițe. Alegând un punct arbitrar pe grafic și aflând valorile corespunzătoare pentru F_{el} și x , vom determina valoarea medie a rigidității:

$$k_{med} = \frac{F_{el}}{x} = \frac{1,8 \text{ H}}{0,095 \text{ m}} = 18,9 \text{ N/m}.$$

Astfel, construirea graficului a permis, folosind toate datele experimentale disponibile, să se afle valoarea medie a rigidității arcului fără calcule complicate.

După graficul, construit pe baza rezultatelor măsurătorilor, se poate estima eroarea aleatorie a acestor măsurători. De exemplu, dacă dreapta obținută în rezultatul experienței trece prin originea coordonatelor (ca graficul $F_{el}(x)$), trebuie de efectuat următoarele acțiuni:

1. De trasat linii-grafice ajutătoare astfel, încât ele să treacă prin acele punctele experimentale, care dau unghiurile maxim și minim de înclinare ale graficului (în fig. 3 aceste linii-grafice sunt date cu albastru).

2. Pentru fiecare dintre graficele ajutătoare obținute, de găsit valoarea mărimii, care se determină în experiență, – în cazul nostru k' și k'' :

$$k' = \frac{2,2 \text{ N}}{0,11 \text{ m}} = 20 \text{ N/m};$$

$$k'' = \frac{1,4 \text{ N}}{0,08 \text{ m}} = 17,5 \text{ N/m};$$

3. De comparat valorile obținute cu valoarea medie a mărimii măsurate (de găsit modulele diferențelor):

$$|k_{med} - k'| = |18,9 - 20| = 1,1 \text{ (N/m)};$$

$$|k_{med} - k''| = |18,9 - 17,5| = 1,4 \text{ (N/m)}.$$

Diferența maximă și este luată drept eroare aleatorie absolută ($\Delta k = 1,4 \text{ N/m}$).

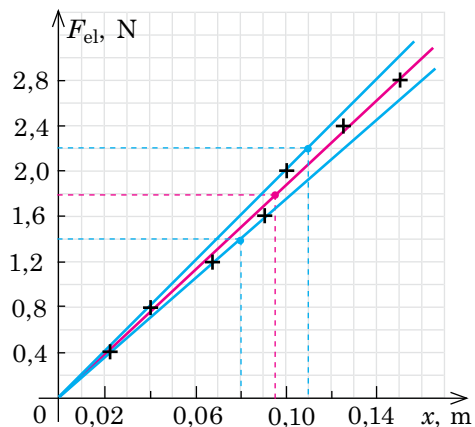
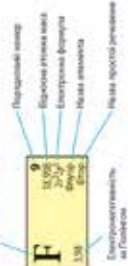
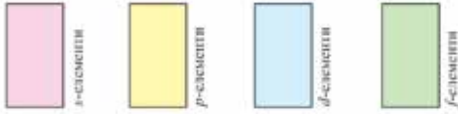


Fig. 3

Системul periodic al elementelor chimice a lui D. I. Mendeleev

Grupul	A I B	A II B	A III B	A IV B	A V B	A VI B	A VII B	VIII	A	B
Periada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	H	He								
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne		
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar		
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
5	Rb	Sr	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
6	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds



* Лантаноїди

58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

** Актиноїди

90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Md	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr
----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	----	-----	----	-----	----	-----	----

RĂSPUNSURI LA EXERCIȚII ȘI ÎNSĂRCINĂRILE PENTRU AUTOVERIFICARE

Capitolul I. Electrostatica

Partea 1. Curentul electric continuu

№ 1. 2. 10 A; 22 Ohm. 3. 1,8 m.

№ 2. 1. 50 mA; 40 V. 2. În serie; în paralel. 4. a) $I_1 = I_2 = I = 2,4$ A; b) $I_1 = 6$ A; $I_2 = 4$ A; $I = 10$ A. 5. $R = 18$ Ohm; $I_1 = I_6 = 2$ A; $I_3 = 1,2$ A; $I_2 = I_4 = I_5 = 0,8$ A. 6. 10 și 30 Ohm. 7. 0,1 Ohm. 8. 0,4 A.

№ 3. 1. a) 8,1 kOhm; 4,84 kOhm; b) 0,027 A; 0,045 A; b) 115,2 kJ. 2. Se mărește. 3. a) 32,3 Ohm; b) 6,8 A; b) 26 min. 4. 10 A. 5. $P_2 = 4P_1$.

№ 4. 2. 2 Ohm. 3. 18 V; 2 Ohm. 4. 1,125 W; 0,9 W; 0,6 W; 87,5 %.

№ 5. 3. 0,007 K⁻¹; 0,125 A. 4. 64 Ohm. 5. 24 cm.

№ 6. 2. $5 \cdot 10^4$ s; 648 mg; 0,09 mg/K Λ . 3. a) La fel; b) în baia 1. 4. b) ≈ 50 min; 2,84 kJ.

№ 7. 1. De coroană. 2. Prin arc. 3. $2,2 \cdot 10^6$ m/c. 4. $10,5 \cdot 10^4$ K.

№ 8. 1. 1 – A, 2 – D, 3 – C. 2. $6 \cdot 10^5$ m/c. 3. $6 \cdot 10^7$ m/s. 4. \vec{B} n sus la dreapta, pe peretele din față.

№ 9. 1. A, B, C. 2. A « \leftarrow », B « \rightarrow ». 3. 5 Ohm; 2/3.

Însărcinările pentru autoverificare la capitolului I. Partea 1.

Însărcinarea nr. 1. 1. a. 2. K₃. 3. K₁ și K₂. Însărcinarea nr. 2. 1. 792j. 2. 1,8l. Însărcinarea nr. 3. 1. a. 2. $\leq 0,3$ Ohm. Însărcinarea nr. 4. 1. d. 2. 1,2 g; ≈ 26 min. Însărcinarea nr. 5. 1. b. 2. 2550 °C.

Partea 2. Electromagnetismul

№ 10. 4. 7,1 A; 5 mH; 30 mT.

№ 11. 1. 10 mH; 0 H. 3. 375 mH·m. 5. a) 18 m/s²; b) 2 m/s²; c) 8,4 m/s²; d) 11,6 m/s².

№ 12. 4. $2,7 \cdot 10^{-15}$ H; 5,6 m. 5. 7,5 mm. 6. $6 \cdot 10^3$ m/s; 0,6 μ T; 18 cm.

№ 13. 1. 0,01 V. 2. a) 0,2 mWb; b) 2 mWb; c) 8,3 mA. 4. Pe peretele din față în dreapta; pe peretele din față în jos. 5. Pe peretele din față: a) în dreapta; b) în stânga; c) în dreapta; d) în stânga. 6. Magnetul. 7. 31 A.

№ 14. 1. Becul 2 în ambele cazuri. 2. 0,13 H. 5. 0,4 H. 6. 33 μ H.

№ 15. 1. 1 – B, 2 – D, 3 – C. 2. În cazul cilindrului din aluminiu.

№ 16. 1. Da. 2. a) Numai câmpul magnetic; b) câmpurile electric, și magnetic. 3. 80 fN, 500 km/s². 4. În raport cu observatorul se mișcă ionii rețelei cristaline.

Însărcinările pentru autoverificare la capitolului I. Partea 2

Însărcinarea nr. 1. 1. De la dreapta la stânga. Însărcinarea nr. 2. 1. c. 2. $3 \cdot 10^6$ m/s. 3. 0,07 μ s.

Însărcinarea nr. 3. 1. a. 2. 1,5 m/s. 3. 16 μ C. Însărcinarea nr. 4. 1. d. 2. c. 3. 0,1 c.

Capitolul II. Oscilații și unde electromagnetice

№ 17. 1. 1) 0,3 s; 6π c⁻¹; 2) $x = 0,8 \sin 6\pi t$ (cm). 2. $i = 0,5 \cos 100\pi t$ (A). 3. a) 0,02 m; 24 s; 0,04 Hz; b) $\frac{\pi}{3}$ rad; 10 cm; 5 mm/s. 4. Fig. 1. a) 0,2 m; 2 s; 0,5 Hz; b) $x = 0,2 \cos \pi t$ (m). Fig. 2. a) 308 V; 20 ms; 50 Hz; b) $u = 308 \sin 100\pi t$ (V).

№ 18. 1. a) Nu se schimbă; b) $T \downarrow$ de 2 ori, $v \uparrow$ de 2 ori; b) $T \uparrow$ de 3 ori; $v \downarrow$ de 3 ori. B. 3. 0,9 ms; 1,8 ms; 0,45 ms. 4. a) 0; $\frac{\pi}{6} \cdot 10^6$ rad/s; b) 12 μ s; 83 kHz; c) 10 μ C; 5,2 A; d) 25 mH; e) 86 mJ; 260 mJ. 5. 10 μ C.

№ 19. 1. 36. 2. $e = 31,4 \sin 314t$ (V); $i = 2,6 \sin 314t$ (A). a) 31,4 V; b) 2,6 A; c) 0,8 A. 4. 0,54 A.

№ 20. 1. 220 V; 308 V. 2. 6,28 Ohm. 3. a) 0,35 A; 318 V; b) 111 W; c) 450 V; $u = 450 \sin 100\pi t$ (V).
4. 3,8 mA. 5. 4,8 min.

№ 21. 1. Coborâtor. 2. 30 V; 0,29. 3. 5,6 A. 4. 0,5 Ohm.

№ 22. 1. b, c, d. 2. $6 \cdot 10^6$ m; $1,58 \cdot 10^{11}$ Hz; $1,14 \cdot 10^{15}$ Hz. 3. ↓ de 3 ori. 5. 4,5 km. 6. 150 mln.

№ 23. 2. 67 m. 3. 6,4 pF. 4. 37,7 m.

Însărcinările pentru autoverificare la capitolului II «Oscilații și unde electromagnetice»

Însărcinarea nr. 1. 1. b. 2. d. 3. 49 μJ. 4. 77 μJ; 260 pF. Însărcinarea nr. 2. 1. b. 2. b. 3. 70.
4. Se va micșora. Însărcinarea nr. 3. 1. c. 2. 0,17 μs. 3. 350 pF. Însărcinarea nr. 4. 1. 10 V.
2. 0,5 pF.

Capitolul III. Optica

№ 24. 1. Nu. 2. 529 rot/s.

№ 25. 1. 1. Zăpada reflectă difuz lumina. 2. 40°. 3. Cât mai aproape de fantă. 4. 76,5°.

№ 26. 1. În aer. 2. $1,24 \cdot 10^8$ m/s; $2,26 \cdot 10^8$ m/s; $2 \cdot 10^8$ m/s. 3. 49°; 33°; 61°. 4. 5,5 m. 5. 12 mm.
6. 6,6 s.

№ 27. 1. 8 dptr, convergentă. 2. 3 dptr, divergentă. 4. 1 m; 0,6 m; 0,12 m. 5. 12 cm; 20 cm.

№ 28. 1. Prezbiția. 2. Cu lentile divergente. 3. Nu. 4. 0,016 cm; 0,009 rad. 5. Prezbiția; 0,5 m.

№ 29. 1. Roșie; da. 3. 1,6; $1,9 \cdot 10^8$ m/s. 4. Lungimea – da, frecvența – nu. 5. Roșie.

№ 30. 1. Nu; nu. 2. În urma interferenței luminii. 3. Maximum; minimum; maximum.
4. Amplificare; amplificare; atenuare; amplificare. 5. a) Minimum; b) maximum.

№ 31. 2. 20 μm. 3. 0,14 rad; 7. 4. 240 nm. 5. 11,6 cm.

№ 32. 1. b, c. 3. $\approx 1,7$; total polarizată. 4. $\approx 37^\circ$.

№ 33. 2. $3,3 \cdot 10^{-19}$ J; $1,1 \cdot 10^{-27}$ kg·m/s; 600 nm. 3. $3,3 \cdot 10^{-26}$ kg·m/s; 10^{-17} J. 4. $1,4 \cdot 10^{-27}$
kg·m/s; $0,9 \cdot 10^{-27}$ kg·m/s; de 1,5 ori. 5. 5,7 kW. 6. 10.

№ 34. 2. 1,6 eV. 3. 2. 4. 1,8 eV; da. 6. $1,2 \cdot 10^{-19}$ J. 7. $2 \cdot 10^{15}$ Hz. 8. $10,8 \cdot 10^{14}$ Hz.
9. $6,4 \cdot 10^{-34}$ J·s.

№ 35. 4. $1,06 \cdot 10^8$ m/s.

Însărcinările pentru autoverificare la capitolului III «Optica»

Însărcinarea nr. 1. 1. b. 2. b. 3. 500 nm; $4 \cdot 10^{14}$ Hz. 4. 2 cm. Însărcinarea nr. 2. 1. d. 2. c.
3. 2/3 m. Însărcinarea nr. 3. 1. a, b. 2. $1,6 \cdot 10^{-5}$ m. 3. 760 nm; 400 nm. Însărcinarea nr. 4.
1. d. 2. $5,8 \cdot 10^5$ m/s.

Capitolul IV. Fizică atomică și nucleară

№ 36. 1. Radiază 1, 2, 3; absoarbe 4, 5. 2. v_{\max} — tranziția 4; λ_{\max} — tranziția 5.
3. 276 nm. 4. $2 \cdot 10^{-19}$ J; $4,6 \cdot 10^{-19}$ J. 5. $1,3 \cdot 10^{-15}$ m.

№ 37. 1. De linii; de bandă; continuu. 2. În ambele. 3. Da. 4. Radiația caracteristică corespunde trecerii atomului dintr-o stare staționară în alta.

№ 38. 3. $7 \cdot 10^{-20}$ J. 4. $10,35 \cdot 10^{15}$; verde.

№ 39. 1. Fluor – 9; 10; Teluriu – 52; 75; Mercuriu – 80; 121. 2. Pentru Protiiu ${}^1_1\text{H}$. 4. 0,11236 u. a. m.; 104,7 MeV; 7,48 MeV/nucleon. 5. 7,75 MeV/nucleon. 6. 184,36 MeV.

№ 40. 1. ${}^{234}_{90}\text{Th}$. 2. dezintegrarea β , ${}^{24}_{12}\text{Mg}$. 3. $8,75 \cdot 10^8$. 4. 93,75%. 5. 6 mii.

№ 41. 1. Cu treceri. 3. 1) ${}^4_2\text{He}$; 2) ${}^{30}_{14}\text{Si}$; 3) ${}^1_1\text{H}$. 5. 17 mii ani.

№ 42. 1. b. 2. 4,2 mln t. 3. 340 MW·ora. 4. 17 %. 5. $845 \cdot 10^9$ J.

Însărcinările pentru autoverificare la capitolului IV «Fizică atomică și nucleară»

Însărcinarea nr. 1. 1. a, c, d. 2. a. 3. 440 nm. 4. $9,2 \cdot 10^{-8}$ H; $4,1 \cdot 10^{-47}$ H. Însărcinarea nr. 2. 1. d. 2. b. 3. $1,9 \cdot 10^{10}$. Însărcinarea nr. 3. 1. b. 2. d. 3. 250,6 MeV. Însărcinarea nr. 4. 1. b. 2. a. 3. 1,6 MJ.

INDICE ALFABETIC

- A** Acomodare (Акомодация), pag. 162
Activitate (Активність), pag. 234
Adaptare (Адаптація), pag. 162
Amper (Ампер), pag. 6
Amper Andre (Ампер А.), pag. 56
Ampermetru (Амперметр), pag. 6
Analiză spectrală (Аналіз спектральний), pag. 216
Analiză spectrală (Спектральний аналіз), pag. 168, 216
Anihilare (Анігіляція), pag. 247
Antenă (Антенa), pag. 129
Antineutrino (Антинейтрино), pag. 232
Autooscilații (Автоколивання), pag. 95
- B** Becquerel (Беккерель), pag. 234
Bogolubov M. (Боголюбов М. М.), pag. 26
- C** Camera de ionizare (йонізаційна), pag. 239
cu bule (Камера бульбашкова), pag. 239
Wilson (Вільсона), pag. 239
Capacitate electrică (Електроємність), pag. 100
Câmp electric (Пôle електричне), pag. 4, 90
— electromagnetic (электромагнітне), pag. 89
— magnetic (магнітне), pag. 57, 59, 90
Ciclotron (Циклотрон), pag. 69
Circuit electric (Кóло електричне), pag. 5
Coeficientul de transformare (трансформації), pag. 117
— randamentului transformatorului (корисної дії трансформатора), pag. 119
— termic al rezistenței electrice (Коефіцієнт температурний електричного опору), pag. 24
Condensator (Конденсатор), pag. 100
Condiția maximului de interferență (Умова інтерференційного максимуму), pag. 172
— minimumului de interferență (мінімуму), pag. 172
Conductibilitate — electronica (електронна), pag. 44
— prin goluri (діркова), pag. 44
— prin impurități (домішкова), pag. 45
— proprie (Провідність власна), pag. 44
Conectare directă (прямé), pag. 47
inversă (Ввімкнення зворотне), pag. 47
Constanta deintegrării radioactive (радіоактивного розпаду), pag. 234
— lui Faraday (Фарадея), pag. 29
— lui Planck (Стála Плánка), pag. 186
Contor cu descărcare în gaze (Лічильник газорозрядний), pag. 239
— de energie electrică (електричної енергії), pag. 14
— scintilator (сцинтиляційний), pag. 239
Contur oscilant (Контур коливальний), pag. 100
Corp absolut negru (Абсолютно чорне тіло), pag. 187
Curentul electric (Електричний струм), pag. 4
— — în electroliți (в електролітах), pag. 28
— — în gaze (у газах), pag. 33
— — în metale (у метáлах), pag. 23
— — în semiconductori (у напівпровідниках), pag. 47
— — în vid (у váкуумі), pag. 39
Curentul electric alternativ (Струм електричний змінний), pag. 107
— — continuu (постійний), pag. 4
— — de saturație (насічення), pag. 34, 192
Curenții Foucault (Струми Фуко), pag. 76
Curie (Кюрі), pag. 234
Curie P. (Кюрі П.), pag. 230
- D** Defect de masă (Дефект мас), pag. 227
Demodulator (detectorul) (Демодулятор (детектор)), pag. 131
Deplasare roșie (Червоне зміщення), pag. 218
Descărcare în gaze autonomă (Газовий розряд самостійний), pag. 33
— luminiscentă (глюючий), pag. 35
— prin arc (дуговий), pag. 35
— prin coroană (коронний), pag. 35
— prin scântei (іскровий), pag. 35
neautonomă (несамостійний), pag. 33
Diamagnet (Діамагнетики), pag. 85
Difracție (Дифракція), pag. 179
Difuzor (Гучномовець), pag. 64
Diodă cu vid (Діод ламповий), pag. 39
— semiconductoroare (напівпровідниковий), pag. 46
Dispersie a luminii (Диспесія світла), pag. 167
Distanță focală (Відстань фокусна), pag. 156
Domeniu (Домен), pag. 87
Dozimetru (Дозиметр), pag. 239
Dualismul undă-corpusul (Корпускулярно-хвильовий дуалізм), pag. 141, 213
- E** Echivalentul electrochimic (Еквівалент електрохімічний), pag. 29
Ecuația lui Einstein pentru fotoefect (Рівняння Ейнштейна для фотоefекту), pag. 193
Electrolizi (Електроліти), pag. 28
Electroliză (Електроліз), pag. 29
Element încălzitor (Елемент нагрівальний), 16
Emisie autoelectronica (Емісія автоелектронна), pag. 38
— electronică (електронна), pag. 38
— fotoelectronică (фотоелектронна), pag. 38
— secundară (вторинна), pag. 38
— termoelectronica (термоелектронна), pag. 38
Energia (Енергія)
— câmpului magnetic (магнітного поля), pag. 82
— conturului oscilant (коливального контуру), pag. 101
— de legătură a nucleului atomului (зв'язку атомного ядра), pag. 227
— — specifică (питóма), pag. 227
Experiența lui Ampere (Дослід Ампера), pag. 56
— Oersted (Ерстеда), pag. 56
— Rutherford (Резерфорда), pag. 210
— Stiuart – Tolman (Стюарта – Толмена), pag. 23
— Young (Юнга), pag. 173
Experiențele lui Faraday (Фарадея), pag. 71
— Hertz (Герца), pag. 125
— Newton (Ньютóна), pag. 167
- F** Farad (Фарад), pag. 100
Fascicul de electroni (Пучок електронний), pag. 40
— de lumină (світловий), pag. 144
Fascicul electronic (Електронний пучок), pag. 43
Fenomenul autoinducției (самоіндукції), pag. 80
— dispersiei luminii (розсіювання світла), pag. 169
— inducției electromagnetice (Явище електромагнітної індукції), pag. 75

- reflexiei luminii (відбивання світла), pag. 145
- refracției luminii (заломлення світла), pag. 149
- Feromagnetici (Феромагнетики), pag. 87
- Flux de inducție magnetică (Потік магнітної індукції), pag. 73
- Focar principal al lentilei (Фокус лінзи головний), pag. 156
- Formula lentilei subțiri (тонкої лінзи), pag. 159
- lui Planck (Планка), pag. 186
- lui Thomson (Томсона), pag. 104
- rețelei de difracție (Формула дифракційної ґратки), pag. 181
- Forța Ampere (Сила Ампера), pag. 57, 61
- Lorentz (Лоренца), pag. 67
- nucleară (ядерна), pag. 226
- străină (стороння), pag. 18
- Forță electromotoare (Електрорушійна сила), pag. 19
- — de autoinducție (самоіндукції), pag. 80
- — de inducție (індукції), pag. 73
- Fotocurent (Фотострум), pag. 191
- Fotoefect (Фотоелектр), pag. 191
- Fotoelemente (Фотоелементи), pag. 194
- Foton (Фотон), pag. 188, 309
- Fotorezistor (Фоторезистор), pag. 44
- Frecvență a oscilațiilor (Частота коливань), pag. 97
- — ciclică (циклічна), pag. 97
- proprie de trecere (власна переходу), pag. 220
- G** Galvanoplastie (Гальванопластика), pag. 30
- Galvanostegie (Гальваностегія), pag. 30
- Generatorul cuantic (квантовий), pag. 220
- curentului alternativ (Генератор змінного струму), pag. 109
- oscilațiilor electromagnetice neamortizate (незатухаючих електромагнітних), pag. 128
- H** Hadronul (Адрон), pag. 282
- Henry (Генрі), pag. 81
- Hetz H. (Герц Г.), pag. 122
- I** Impurități aserptoare (Домішки акцепторні), 45
- donoare (донорні), pag. 45
- Indice de refracție a luminii absolut (Показник заломлення світла абсолютний), pag. 151
- relativ (відносний), pag. 150
- Inductanța (Індуктивність), pag. 81
- Inducție magnetică (Магнітна індукція), pag. 58
- Intensitate a câmpului electric (Напруженість електричного поля), pag. 4
- Intensitate a curentului (сила струму), pag. 6
- — de scurtcircuit (короткого замикання), pag. 21
- — efectivă (діюча), pag. 113
- Interacțiune electromagnetică (Взаємодія електромагнітна), pag. 89
- tare (сильна), pag. 226
- Interferența luminii (Інтерференція світла), pag. 171
- Ionizarea (Іонізація), pag. 33
- prin radiație (випромінюванням), pag. 33
- prin șoc electronic (електронним ударом), pag. 34
- termică (термічна), pag. 33
- Ipoteza lui Planck (Гіпотеза Планка), pag. 188
- Izotop (Ізотоп), pag. 226, 237
- J** Joncțiunea electron-gol (joncțiunea p-n) (Перехід електронно-дірковий (p-n-перехід)), pag. 46
- K** Kilowatt-oră (Кіловат-година), pag. 14
- L** Laser (Лазер), pag. 221
- Legarea conductoarelor în paralel (З'єднання провідників паралельно), pag. 10
- — în serie (последовне), pag. 9
- Legea autoinducției (самоіндукції), pag. 81
- dezintegrării radioactive (fundamentala) (радіоактивного розпаду (основний)), pag. 234
- inducției electromagnetice (електромагнітної індукції), pag. 74
- lui Brewster (Закон Брюстера), pag. 185
- Joule — Lentz (Джоуля — Ленца), pag. 15
- Ohm pentru o porțiune de circuit (Ома для ділянки кола), pag. 6
- — pentru un circuit închis (для повного кола), pag. 20
- propagării rectilinii a luminii (прямолінійного поширення світла), pag. 144
- Legile electrolizei (електролізу), pag. 29
- fotoefectului (фотоелектру), pag. 234
- reflexiei luminii (Закони відбивання світла), pag. 145
- refracției luminii (заломлення світла), pag. 151
- Lentilă (Лінза), pag. 155
- Linii de inducție magnetică (Лінії магнітної індукції), pag. 59
- Lucrul curentului (струму), pag. 14
- de ieșire (Робота виходу), pag. 33, 193
- Lumină (Світло), pag. 140
- monocromatică (монокроматичне), pag. 171
- vizibilă (Видиме), pag. 199
- M** Maxwell J. (Максвелл Дж.), pag. 122
- Miopie (Короткозорість), pag. 163
- Modelul atomului (Модель атома), pag. 210, 211
- Modulația (Модуляція), pag. 130
- Momentul forței (Сили), pag. 63
- forței Ampere (Ампера), pag. 63
- magnetic (Момент магнітний), pag. 84
- Motorul electric (Двигун електричний), pag. 64
- M. Sklodowska — Curie (Складівська-Кюрі М.), pag. 230
- N** Neutrino (Нейтрино), pag. 233, 247
- Neutron (Нейтрон), pag. 225
- Nucleon (Нуклон), pag. 225
- Nuclid (Нуклід), pag. 225
- Număr de sarcină (protonic) (Число зарядове (протонне)), pag. 225
- de masa (de nucleoni) (нуклонне), pag. 225
- O** Ochiul (Око), pag. 162
- Ohm (Ом), pag. 6
- Optică (Оптика), pag. 140
- geometrică (геометрична), pag. 144
- Oscilații (Коливання), pag. 95
- armonice (гармонічні), pag. 96
- electromagnetice (електромагнітні), pag. 107
- forțate (вимушені), pag. 95
- libere (вільні), pag. 95, 101
- P** Paramagnetici (Парамагнетики), pag. 86
- Particule elementare (Частинки елементарні), pag. 248

- Perioada (constanta) rețelei (Період (ста́ла) гра́тки), pag. 180
 — de semidezintegrare (піврозпаду), pag. 233
 — oscilațiilor (коливань), pag. 97
 Permeabilitate magnetică relativă a mediului (Відносна магнітна проникність середовища), pag. 84
 Permitivitatea dielectrică a mediului (Диелектрична проникність середовища), pag. 84
 Planck M. (Планк М.), pag. 188
 Plasmă (Пла́зма), pag. 32
 Polarizarea luminii (Поляриза́ція світла), pag. 183
 Polarizii (Поляроїди), pag. 183
 Postulatele lui Bohr (Постула́ти Бо́ра), pag. 212
 Pozitron (Позитро́н), 247
 Prezbiția (Далекозо́рість), pag. 163
 Principiul lui Fermat (Ферма́), pag. 144
 — Huygens – Fresnel (Принцип Гюйгенса — Френеля), pag. 179
 Proton (Прото́н), pag. 225
 Putere a curentului (Потужність стру́му), pag. 14
 Putere optică a lentilei (оптична лінзи), pag. 157
Q Quarц (Ква́рк), pag. 249
R Radiație (Випромінювання)
 — indusă (forțată) (індукване (вимушене)), pag. 219
 — infraroșie (инфрачерво́не), pag. 199
 — luminescentă (люмінесцентне), 273
 — Radioactivă (радіоактивне), pag. 231
 — — alfa (α) (альфа (α)), pag. 231
 — — beta negativă (β^-) (бета мінус (β^-)), pag. 231
 — — beta pozitivă (β^+) (бета плюс (β^+)), pag. 231
 — — gama (γ) (га́ма (γ)), pag. 200, 231
 — Röntgen (рентгѐнівське), pag. 200
 — spontană (спонтанне), pag. 219
 — ultravioletă (ультрафіолетове), pag. 199
 Radio (Ра́діо), pag. 128
 Radioactivitate (Радіоактивність), pag. 232
 Radionuclid (Радионуклі́д), pag. 231
 Radiounde (Радио́хвилі), pag. 198
 Rafinare (Рафи́нування), pag. 30
 Rază de lumină (Про́мінь світло́вий), pag. 144
 Reactor nuclear (Ядерний ре́актор), pag. 243
 Reacție nucleară (ядерна), pag. 236
 — nucleară în lanț (ядерна ланцо́гова), pag. 242
 — termonucleară (Реа́кція термоядерна), pag. 244
 Reflexia luminii (Відбива́ння світла), pag. 145
 — de oglindă (зерка́льне), pag. 145
 — difuză (дифу́зне), pag. 145
 — internă totală (повне вну́трішне), pag. 152
 Regula burghiului (mâinii drepte) (свѐрдлика (пра́вої руки)), pag. 58
 — de deplasare (Пра́вила зміщеня), pag. 232
 — lui Lentz (Лѐнца), pag. 74
 — mâinii stânga (ліво́ї руки), pag. 62, 67
 Rețea de difracție (Гра́тка дифракці́йна), pag. 180
 Rezistență electrică (Опір електри́чний), pag. 6
 — activă (активний), pag. 112
 — sarcitivă (ѐмнісний), pag. 114
 — inductivă (индуктивний), pag. 114
 — interioară (вну́трішній), pag. 20
 — reactivă (реактивний), pag. 114
 — specifică (питомий), pag. 6
 — suplimentară (дода́тковий), pag. 11
 Rezistență electrică activă (Електри́чний о́пір активний), pag. 22
 — sarcitivă (ѐмнісний), pag. 24
 — inductivă (индуктивний), pag. 24
 Reversibilitatea razelor de lumină (Оборо́тність світло́вих про́менів), pag. 145
S Scara undelor electromagnetice (Шка́ла електромагні́тних хви́ль), pag. 197
 Schemă electrică (Схе́ма електри́чна), pag. 5
 Scurtcircuit (Замикáння коро́тке), pag. 20
 Sistem optic (Опти́чна систе́ма), pag. 162
 Spectrometru de masă (Мас-спектро́метр), pag. 69
 Spectroscop (Спектроско́п), pag. 168
 Spectru de absorbție de linii (поглина́ння лінійча́сте), pag. 215
 — de emisie continuu (Спектр випромінюва́ння неперѐрвний), pag. 215
 — de linii (лінійча́стий), pag. 215
 — de bandă (смуга́стий), pag. 216
 — de dispersie (дисперсі́йний), pag. 167
 — de difracție (дифракці́йний), pag. 181
 Starea atomului excitată (Стан а́тома збу́джений), pag. 212
 — — metastabilă (метастабі́льний), pag. 220
 — — fundamentală (основний), pag. 212
 Supraconductibilitate (Надпро́відність), pag. 25
 Supraconductor (Напівпро́відник), pag. 43
 — de tip n (*n*-тип), pag. 45
 — de tip p (*p*-тип), pag. 45
 Sursă de lumină (Джерело стру́му), pag. 5
Ș Șunt (Шунт), pag. 11
T Tensiune electrică (Напру́га електри́чна), pag. 6
 — de întârziere (de stopare) (за́тримуюча (за́пірна)), pag. 192
 Teoria corpusculară a luminii a lui I. Newton (Теорія світла корпусуля́рна І. Ньюто́на), pag. 141
 Teoria ondulatorie a luminii a lui C. Huygens (Теорія світла хвилюва́ К. Гюйгенса), pag. 141
 — — ondulatorie a lui C. Huygens, pag. 141
 Termistor (Термісто́р), pag. 44
 Tesla (Тѐсла), pag. 58
 Transformator (Трансфо́рма́тор), pag. 116
 Tub catodic (Електро́нно-променѐва тру́бка), pag. 41
U Unda lui de Broglie (Хви́ля де Брѐйля), pag. 213
 — electromagnetică (электромагні́тна), pag. 122
 Unde coerente (Хви́лі когерѐнтні), pag. 171
 Unghi de vedere (зо́ру), pag. 163
 — de incidentă (падіння), pag. 145
 — de reflexie (Ку́т відбива́ння), pag. 145
V Vid (Ва́куум), pag. 37
 Volt (Во́льт), pag. 6
 Voltmetru (Вольтме́тр), pag. 6
W Weber (Ве́бер), pag. 73

CUPRINS

Cuvânt înainte	3
--------------------------	---

Capitolul I. Electrodinamica

Partea 1. Curentul electric continuu

§ 1. Curentul electric.	4
§ 2. Legarea în serie și în paralel a conductoarelor. Șunturi și rezistențe suplimentare . .	9
§ 3. Lucrul și puterea curentului electric. Legea lui Joule – Lentz	14
§ 4. Tensiunea electromotoare. Legea lui Ohm pentru un circuit închis.	18
§ 5. Curentul electric în metale	23
§ 6. Curentul electric în electroliți. Electroliza.	28
§ 7. Curentul electric în gaze	32
§ 8. Curentul electric în vid. Aparatele electrice cu vid	37
§ 9. Curentul electric în semiconductoare.	43
<i>Lucrare experimentală nr. 1</i>	49
<i>Lucrare experimentală nr. 2</i>	50
<i>Lucrare experimentală nr. 3</i>	52
Facem totalurile capitolului I. Partea 1	54
Însărcinări pentru autoverificare la capitolul I. Partea 1	55

Partea 2. Electromagnetismul

§ 10. Câmpul magnetic	56
§ 11. Forța Ampere	61
§ 12. Forța Lorentz	67
§ 13. Experiențele lui M. Faraday. Legea inducției electromagnetice	71
§ 14. Autoinducția. Inductanța. Energia câmpului magnetic	79
§ 15. Proprietățile magnetice ale substanțelor. Dia –, para –, și feromagneticii	84
§ 16. Câmpul electromagnetic	89
Facem totalurile capitolului I. Partea 2	93
Însărcinări pentru autoverificare la capitolul I. Partea 2	94

Capitolul II. Oscilații și unde electromagnetice

§ 17. Oscilații. Tipuri de oscilații. Mărimile fizice, care caracterizează oscilațiile	95
§ 18. Oscilații electromagnetice libere într-un contur oscilant ideal. Formula lui Thomson	100
§ 19. Curentul alternativ. Generatoarele curentului alternativ	107
§ 20. Rezistențele activă, capacitivă și inductivă în circuitul de curent alternativ	112
§ 21. Transmiterea și utilizarea energiei curentului alternativ. Transformatorul	116
§ 22. Unde electromagnetice. Proprietățile undelor electromagnetice. Experiențele lui H. Hertz	122
§ 23. Principiile comunicării radiotelefonice. Radiocomunicația și televiziunea	128
<i>Lucrare experimentală nr. 4</i>	134
Facem totalurile capitolului II	136
Însărcinări pentru autoverificare la capitolul II	137
Pagina enciclopedică	138

Capitolul III. Optica

§ 24. Dezvoltarea concepțiilor despre natura luminii	140
§ 25. Reflexia luminii. Legile reflexiei luminii	144
§ 26. Refracția luminii. Legile refracției luminii. Reflexia totală a luminii	149
§ 27. Lentile. Construcția de imagini în lentile. Formula lentilei subțiri	155
§ 28. Sisteme optice. Unghiul de vedere	162
§ 29. Dispersia luminii. Spectroscopul.	167
§ 30. Interferența luminii	171
§ 31. Difracția luminii.	178
§ 32. Polarizarea luminii. Polarizori	183
§ 33. Formula lui Planck. Cuante de lumină	187
§ 34. Efectul fotoelectric. Legile efectului fotoelectric	190
§ 35. Scala undelor electromagnetice. Unde electromagnetice în natură și tehnică.	197
<i>Lucrare experimentală nr. 5</i>	203
<i>Lucrare experimentală nr. 6</i>	204
<i>Lucrare experimentală nr. 7</i>	206
Facem totalurile capitolului III	208
Însărcinări pentru autoverificare la capitolul III.	209

Capitolul IV. Fizică atomică și nucleară

§ 36. Experiența lui E. Rutherford. Postulatele lui N. Bohr. Nivelurile energetice ale atomului.	210
§ 37. Tipuri de spectre. Bazele analizei spectrale	215
§ 38. Generatoarele optico-cuantice (laserii)	219
§ 39. Modelul protono-neutronic al nucleului atomului. Forțele nucleare. Energia de legătură.	224
§ 40. Radioactivitatea. Legea fundamentală a dezintegrării radioactive	230
§ 41. Obținerea și utilizarea radionuclizilor. Metodele de înregistrare a radiației ionizante	236
§ 42. Reacția de dezintegrare în lanț a nucleelor de Uraniu. Reacțiile termonucleare	241
§ 43. Particule elementare	247
<i>Lucrare experimentală nr. 8</i>	250
<i>Lucrare experimentală nr. 9</i>	252
Facem totalurile capitolului IV	254
Însărcinări pentru autoverificare la capitolul IV	255
Temele orientative ale proiectelor, referatelor și comunicărilor, cercetărilor experimentale	256
<i>Anexa 1</i>	259
<i>Anexa 2</i>	261
Sistemul periodic al elementelor chimice a lui D. I. Mendeleev.	264
Răspunsuri la exerciții și însărcinările pentru autoverificare	265
Indice alfabetic.	267

Rubrica «Fizica și tehnica în Ucraina»:

B. E. Paton (8), V.E. Lașcariov (42), L. D. Landau (89), I. M. Lifșiț (89), A. F. Prihotico (106), O. T. Smacula (177), I. P. Puliui (202).

Informație despre starea manualului

Nr.	Numele și prenumele elevului	Anul de învățământ	Starea manualului	
			la început de an	la final de an
1				
2				
3				
4				
5				

Навчальне видання

БАР'ЯХТАР Віктор Григорович
ДОВГИЙ Станіслав Олексійович
БОЖИНОВА Фаїна Яківна
та ін.

ФІЗИКА

(рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.)
Підручник для 11 класу з навчанням румунською/молдовською мовами закладів загальної середньої освіти
За редакцією Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О.

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за державні кошти. Продаж заборонено

Переклад з української мови
Перекладач Рябко Родіка Георгіївна
Румунською/молдовською мовами

Редактор *М. В. Товарницький*
Художнє оформлення *В. І. Труфена*. Коректор *Ю. М. Гаврилюк*

Окремі зображення, що використані в оформленні підручника, розміщені в мережі Інтернет для вільного використання

Формат 70×100/16. Ум. друк. арк. 22,1. Обл.-вид. арк. 24,2.
Тираж 1171 прим. Зам. № 82П

Державне підприємство
«Всеукраїнське спеціалізоване видавництво «Світ»
79008 Львів, вул. Галицька, 21
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4826 від 31.12.2014
www.svit.gov.ua; e-mail: office@svit.gov.ua, svit_vydav@ukr.net

Друк ТДВ «Патент»
88006 м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4078 від 31.05.2011

CURENTUL ELECTRIC CONTINUU

Intensitatea curentului	Tensiunea	Rezistența	FEM
Intensitatea curentului, A $I = \frac{q}{t}$ Sarcina, C Timpul, s	Tensiunea electrică, V $U = \frac{A}{q}$ Lucrul curentului, J	Rezistența specifică, Ohm · m Lungimea, m Rezistența, Ohm $R = \rho \frac{l}{S}$ Aria secțiunii transversale, m ²	Lucrul forțelor străine, J $\mathcal{E} = \frac{A_{st}}{q}$ Forța electromotoare, V

Legea lui Ohm	Felurile de legare a conductoarelor
---------------	-------------------------------------

Pentru o porțiune de circuit	Pentru un circuit închis	În serie	În paralel
Intensitatea curentului în porțiune, A Tensiunea pe porțiune, V $I = \frac{U}{R}$ Rezistența porțiunii, Ohm	Forța electromotoare a sursei de curent, V $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ Rezistența interioară a sursei de curent, Ohm	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

Lucrul curentului	Puterea curentului	Legea lui Joule—Lentz
Lucrul curentului, J Tensiunea, V Timpul trecerii curentului, s Intensitatea curentului, A $A = UIt$	Puterea curentului, W Intensitatea curentului, A Tensiunea, V $P = UI$	Cantitatea de căldură, J Timpul, s Intensitatea curentului, A Rezistența, Ohm $Q = I^2 R t$

ELECTROMAGNETISMUL

Inducția magnetică	Fluxul magnetic	Forța Ampere	Forța Lorentz
Inducția magnetică, T Forța Ampere maximă, N $B = \frac{F_{A \max}}{Il}$ Intensitatea curentului în conductor, A Lungimea părții active a conductorului, m	Fluxul magnetic, Wb $\Phi = BS \cos \alpha$ Aria conturului, m ² Unghiul dintre inducția magnetică și normala la contur	Forța Ampere, N $F_A = BIl \sin \alpha$ Unghiul dintre direcția inducției magnetice și direcția curentului în conductor	Forța Lorentz, N $F_L = qBv \sin \alpha$ Unghiul dintre inducția magnetică și direcția mișcării particulei

Legea inducției electromagnetice	Inductanța	Legea autoinducției	Energia câmpului magnetic
FEM de inducție, V Variația fluxului magnetic, Wb $\mathcal{E}_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ Timpul variației fluxului magnetic, s	Inductanța, H Fluxul magnetic, Wb Intensitatea curentului, A $L = \frac{\Phi}{I}$	FEM de autoinducție, V $\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ Viteza variației intensității curentului, A/s	Inductanța, H $W_m = \frac{LI^2}{2}$ Energia câmpului magnetic, J

OSCILAȚII ȘI UNDE ELECTROMAGNETICE

Perioada Tim-pul, s $T = \frac{t}{N}$ Numărul de oscilații $T = \frac{1}{\nu}$ Frecvența oscilațiilor, Hz	Frecvența ciclică Frecvența ciclică, c ⁻¹ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ $\omega = 2\pi\nu$ Frecvența oscilațiilor, Hz	Conturul oscilant	
Formula lui Thomson Inductanța bobinei, H $T = 2\pi\sqrt{LC}$ Perioada oscilațiilor, s Capacitatea condensatorului, F		Energia Energia câmpului electric, J $W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}$ Energia totală, J Energia câmpului magnetic, J	
Transformatorul		Unde electromagnetice	
Coefficientul de transformare Coefficientul de transformare $k = \frac{N_1}{N_2}$ Numărul de spire în bobină	Randamentul transformatorului Randamentul transformatorului, % $\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cdot 100\%$	Formula undeii Viteza de propagare a undeii, m/s $c = \lambda\nu$ Lungimea de undă, m Frecvența undeii, Hz	Densitatea energiei Densitatea energiei câmpului electric, J/m ³ $w = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0 \mu}$ Densitatea energiei câmpului magnetic, J/m ³

FENOMENE OPTICE

Indicele de refracție Unghiul de incidență $n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$ Indice relativ de refracție Unghiul de refracție Viteza de propagare a luminii în mediul 1, m/s Viteza de propagare a luminii în mediul 2, m/s	Lentilele
Formula lentilei subțiri Distanța focală, m $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ Distanța de la obiect până la lentilă, m Distanța de la imagine până la lentilă, m	
Puterea optică a lentilei $D = \frac{1}{F}$ Puterea optică a lentilei, dptr	
Interferența Diferența de drum, m Lungimea de undă, m $\Delta d = k \frac{\lambda}{2}$ Număr întreg: dacă k este par, atunci maximum, dacă impar - minimum	Formula rețelei de difracție Perioada rețelei, m $d \sin \varphi = k\lambda$ Unghiul dintre direcțiile maximumului central și maximumul de ordinul k
Formula lui Planck Energia cuantei, J $E = h\nu$ Frecvența undeii electromagnetice, Hz Constanta lui Planck	Ecuția lui Einstein pentru efectul fotoelectric Energia cuantei, J Lucrul de ieșire, J $h\nu = A_{ieș} + E_{cmax}$ Energia cinetică maximă a fotoelectronilor, J

FIZICĂ ATOMICĂ ȘI NUCLEARĂ

Defectul de masă Defectul de masă, u.a.m. $\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{nuc}$ Numărul de protoni Masa nucleului, u.a.m. Numărul de neutroni	Energia de legătură Energia de legătură, MeV $E_{leg} = k\Delta m$ Coeficientul $k = 931,5 \text{ MeV/u.a.m.}$	Energia specifică de legătură Energia specifică de legătură MeV/nucleon $f = \frac{E_{leg}}{A}$ Cantitatea de nucleizi în nucleu
--	--	--