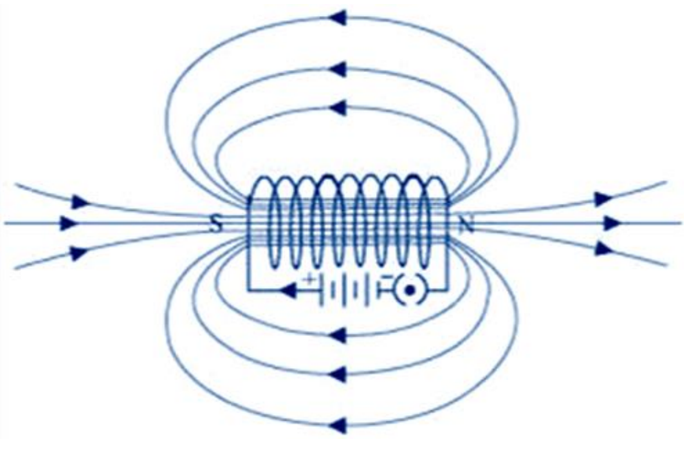
UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Dumitru Țiuleanu Marina Ciobanu Olga Mocreac

Probleme de electrostatică, curent continuu și electromagnetism

(Îndrumar pentru uzul studenților)



Chișinău 2020

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
FACULTATEA ELECTRONICĂ ȘI TELECOMUNICAȚII
DEPARTAMENTUL FIZICA

Probleme de electrostatică, curent continuu și electromagnetism

(Îndrumar pentru uzul studenților)

Chișinău
Editura " Tehnica- UTM"
2020

CZU 537.2/.8(075.8)
Ţ 65

Îndrumarul include probleme pe subiecte de electrostatică, curent continuu și magnetism care corespund cursului de fizică generală pentru universități. Fiecare capitol este însoţit de o introducere restrânsă, care conţine legile şi formulele de bază, utile la rezolvarea problemelor incluse în capitolul respectiv, precum şi exemple de rezolvare a acestor probleme.

Rezolvarea problemelor se realizează, de regulă, în sistemul internaţional de unităţi. Răspunsurile sunt indicate în paranteze la sfârşitul fiecărei probleme. Pentru rezolvarea problemelor mai complicate la sfârşitul îndrumarului sunt date indicaţii. În anexe sunt introduse tabelele constantelor universale, proprietățile electrice, fizico-chimice și magnetice ale diferitor substanțe.

Autorii mulţumesc anticipat pentru toate sesizările, obiecțiile şi sugestiile pe marginea materialului, care inevitabil vor duce la îmbunătăţirea unei eventuale ediţii ulterioare a indrumarului.

Autori: prof. univ., dr.hab în șt. fizico-matematice Dumitru Țiuleanu
lect.univ., dr.în șt. fizico-matematice Marina Ciobanu
lect. univ. Olga Mocreac
Recenzent: conf.univ., dr. în şt. fizico-matematice Ion Stratan

DESCRIEREA CIP A CAMERII NAȚIONALE A CĂRȚII

Ţiuleanu, Dumitru.
Probleme de electrostatică, curent continuu şi electromagnetism: (Îndrumar pentru uzul studenţilor) / Dumitru Ţiuleanu, Marina Ciobanu, Olga Mocreac; Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Electronică şi Telecomunicaţii, Departamentul Fizica. – Chişinău: Tehnica-UTM, 2020. – 72 p. : fig., tab.
Bibliogr.: p. 72 (9 tit.). – 300 ex.
ISBN 978-9975-45-631-9.
537.2/.8(075.8)
Ţ 65

Bun de tipar 06.05.20 | Formatul hârtiei 60x84 1/16
Hârtie ofset. Tipar RISO | Comanda nr. 29

ISBN 978-9975-45-631-9
© UTM, 2020

Capitolul 1. ELECTROSTATICA ŞI CURENTUL CONTINUU

Breviar

Legea lui Coulomb:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}, \tag{1.1}$$

unde: q_1 şi q_2 sunt sarcinile electrice ale corpurilor;

ε este permitivitatea dielectrică;

$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ - constanta electrică.

Intensitatea câmpului electric

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \tag{1.2}$$

unde: $\vec{F}$ este forţa ce acţionează asupra sarcinii q.

Intensitatea câmpului electric al unei sarcini punctiforme

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}, \tag{1.3}$$

Intensitatea câmpului electric a câtorva sarcini electrice (de exemplu, dipolului) se determină conform regulii compunerii vectorilor.

Teorema Gauss are aspectul

$$\Phi_E = \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n} q_i, \tag{1.4}$$

unde: Φ_E - fluxul vectorului intensităţii câmpului electric printr-o suprafaţă închisă, iar $\sum q_i$ este suma algebrică a sarcinilor, incluse în această suprafaţă.

Intensitatea câmpului, produs de un fir infinit încărcat cu sarcină electrică este:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 a}, \tag{1.5}$$

unde: τ este densitatea liniară a sarcinii pe fir;

a - distanţa de la fir.

Dacă firul are lungime finită, intensitatea câmpului în punctul ce se află pe perpendiculara coborâtă din mijlocul firului la distanţa „a” de la fir

$$E = \frac{\tau \sin\alpha}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 a}, \tag{1.6}$$

unde: α este unghiul format de normala la fir şi raza vectoare dusă din punctul cercetat către capătul firului.

Intensitatea câmpului format de o suprafaţă infinită încărcată electric uniform:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}, \tag{1.7}$$

unde: σ - densitatea superficială a sarcinii. Dacă suprafaţa reprezintă un disc cu raza R, atunci intensitatea câmpului în punctul de pe perpendiculara coborâtă în centrul discului la distanţa a faţă de aceasta, atunci

$$E = \frac{1}{2\varepsilon\varepsilon_0}(1 \quad \frac{a}{\sqrt{R \ + a^2}}) . \tag{1.8}$$

Intensitatea câmpului între plăcile unui condensator plan

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} . \tag{1.9}$$

Intensitatea câmpului în exteriorul unei suprafeţe sferice

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}, \tag{1.10}$$

unde: q este sarcina sferei;

r - distanţa de la centrul sferei.

Diferenţa de potenţial între două puncte ale câmpului electric este determinată de lucrul efectuat pentru a deplasa o sarcină pozitivă unitară dintr-un punct al câmpului în altul

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{L_{12}}{q}. \tag{1.11}$$

Potenţialul unei sarcini punctiforme

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}, \tag{1.12}$$

unde: r este distanţa faţă de sarcină.

Intensitatea câmpului electric este legată cu potenţialul electric prin relaţia

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}. \tag{1.13}$$

În cazul câmpului electric omogen al condensatorului plan

$$E = \frac{U}{d}, \tag{1.14}$$

unde: U este diferenţa de potenţal între plăcile condensatorului iar d fiind distanţa dintre plăci.

Capacitatea unui condensator plan

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}, \tag{1.15}$$

unde: S este suprafaţa fiecărei plăci a condensatorului.

Capacitatea condensatorului sferic

$$C = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 rR}{R-r}, \tag{1.16}$$

unde: r şi R sunt respectiv raza sferei interioare şi a celei exterioare. În caz particular, dacă $R = \infty$,

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r,$$

(1.17)

adică capacitatea unei sfere izolate.

Capacitatea unui sistem format din n de condensatoare: la legarea **în paralel**

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots + C_n = \sum_{i=1}^{n} C_i, \tag{1.18}$$

la legarea **în serie:**

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\ldots+\frac{1}{C_n}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{C_i}. \qquad (1.19)$$

Energia unui condensator încărcat poate fi determinată din următoarele relaţii:

$$W=\frac{qU}{2}, \qquad W=\frac{CU^2}{2}, \quad W=\frac{q^2}{2C}. \qquad (1.20)$$

În cazul unui condensator plan:

$$W=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 SU^2}{2d}=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 Sd}{2}=\frac{\sigma^2 Sd}{2\varepsilon\varepsilon_0}, \qquad (1.21)$$

unde: S este aria suprafeței unei plăci;
σ - densitatea superficială a sarcinii;
U - diferenţa de potenţial între plăci;
d - distanţa dintre plăci.

Mărimea

$$\omega=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}=\frac{ED}{2}, \qquad (1.22)$$

se numeşte **densitatea de volum a energiei câmpului electric**.

Forţa de atracţie între plăcile unui condensator plan:

$$F=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 S}{2}=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 SU^2}{2d^2}=\frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon\varepsilon_0}. \qquad (1.23)$$

Intensitatea curentului electric I este numeric egală cu cantitatea de sarcină electrică ce trece prin secţiunea transversală a conductorului într-o unitate de timp

$$I=\frac{dq}{dt}.$$

Dacă intensitatea curentului $I=const$, atunci

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

Densitatea curentului electric

$$j=\frac{I}{S},$$

unde: S este aria secţiunii transversale a conductorului.

Curentul ce circulă printr-un sector de conductor se supune legii lui Ohm

$$I = \frac{U}{R}, \tag{1.24}$$

unde: U este diferenţa de potenţial la capetele sectorului iar R - rezistenţa acestui sector.

Rezistenţa conductorului cilindric omogen

$$R = \rho\frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma S}, \tag{1.25}$$

unde: ρ este rezistivitatea;

σ - conductivitatea;

l - lungimea conductorului;

S - aria secţiunii transversale a conductorului.

Lucrul curentului electric într-un sector de circuit se determină din relaţia

$$L = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t. \tag{1.26}$$

Pentru un circuit închis, legea lui Ohm are aspectul

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}, \tag{1.27}$$

unde: ε este tensiunea electromotoare;

R - rezistenţa externă;

r - rezistenţa internă a generatorului.

Legea întîi a lui Kirchhoff: suma algebrică a curenţilor, ce se întîlnesc într-un nod al circuitului, este egală cu zero

$$\sum_{i=1}^{n} I_i = 0. \tag{1.28}$$

Legea a doua a lui Kirchhoff: într-un circuit închis suma căderilor de potenţial (tensiune) pe diferite sectoare de circuit este egală cu suma algebrică a tensiunilor electromotoare din acest circuit:

$$\sum_{i=1}^{n} I_i R_i = \sum \varepsilon_i \tag{1.29}$$

Legea întîi a lui Faraday pentru electroliză:

$$m = kIt = kq, \tag{1.30}$$

unde: q este cantitatea de sarcină ce trece prin circuit iar k este echivalentul electrochimic.

Legea a doua a lui Faraday pentru electroliză:

$$k = \frac{1}{F}\frac{A}{n}, \tag{1.31}$$

unde: A-masa molară; n-valenţa; $F = 96{,}48 \cdot 10^3 C/mol$ - constanta lui Faraday.

Exemple de rezolvare a problemelor

<u>Problema 1</u>

În vârfurile unui pătrat cu latura a sunt amplasate două sarcini electrice pozitive şi două sarcini negative cu aceeaşi valoare q. Să se determine intensitatea şi potenţialul câmpului electric în centrul acestui pătrat.

<u>Analiză:</u>

Câmpul este format de patru sarcini punctiforme. Din condiţiile exemplului este necesar să se determine caracteristicile câmpului în punctul C, echidistant faţă de vârfurile pătratului, şi amplasat în acelaşi plan cu vârfurile. Potenţialul şi intensitatea se determină utilizând principiul superpoziţiei:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 , \quad (1)$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4 . \quad (2)$$

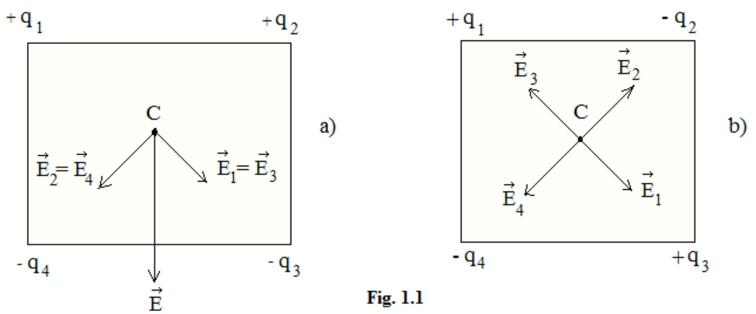


Fig. 1.1

Aşa cum relaţia (1) este scalară, potenţialul câmpului electric într-un punct al acestuia nu depinde de ordinea de aranjare a sarcinilor în vârfurile patrulaterului. Pentru a determina intensitatea câmpului electric, după relaţia (2), este necesar să se indice, pe desen, direcţia tuturor vectorilor $\vec{E}_i$ ce depind de semnul sarcinii q_i. Este evident, că intensitatea câmpului depinde de ordinea aranjării sarcinilor în vârfurile pătratului.

Rezolvare:

Distanţa de la fiecare sarcină până în centrul patratului este

$$r = \frac{a\sqrt{2}}{2}.$$

Potenţialul format de sarcina q_i în punctul de determinare

$$\varphi_i = \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r}.$$

Deci, potenţialul rezultant va fi

$$\varphi = \sum_{i=1}^{n=4} \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r}.$$

Reieşind din enunţul problemei, suma algebrică a sarcinilor electrice este egală cu zero, deci şi potenţialul rezultant $\varphi = 0$ independent de ordinea amplasării sarcinilor electrice.

Să analizăm distribuţia sarcinilor indicate în fig.1.1,*a*. Intensităţile $\vec{E}_2$ şi $\vec{E}_4$ a câmpurilor create de sarcinile *2* şi *4* în punctul *C* sunt diametral opuse fiind egale în modul $\left|\vec{E}_2\right| = \left|\vec{E}_4\right|$.

În mod analog $\left|\vec{E}_1\right| = \left|\vec{E}_3\right|$.

Ca rezultat, intensitatea câmpului electric în punctul C se determină astfel, $\vec{E} = 2\vec{E}_1 + 2\vec{E}_2$

Vectorii $\vec{E}_1$ şi $\vec{E}_2$ sunt egali în modul şi reciproc perpendiculari (pe diagonalele patratului), rezultă că vectorul rezultant $\vec{E}$ este îndreptat vertical în jos şi are valoarea

$$E = 2\sqrt{2}E_1.$$

Intensitatea câmpului creat de fiecare sarcină luată în parte, este

$$E_i = \frac{|q_i|}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{|q_i|}{2\pi\varepsilon_0 a^2}.$$

Este necesar să se considere în modul sarcina q_i deoarece semnul sarcinii determină direcţia vectorului $\vec{E}_i$.

În final se obţine

$$E = \frac{q\sqrt{2}}{\pi\varepsilon_0 a^2}.$$

La amplasarea sarcinilor conform figurii 1.1.b intensitatea câmpului electric devine $\vec{E} = 0$.

Problema 2

O sarcină pozitivă q_i este repartizată uniform pe un inel subţire cu raza *R*. Să se determine intensitatea şi potenţialul câmpului în punctul *C*, ce se află pe axa inelului la distanţa z faţă de centrul inelului. Se vor modifica aceste mărimi dacă distribuţia uniformă a sarcinii pe inel nu se menţine?

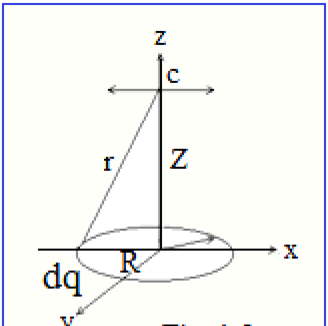


Fig. 1.2

Analiză: Câmpul este realizat de sarcina repartizată uniform pe inelul de raza R. Acest câmp posedă simetrie, astfel încât pentru calculul intensităţii şi potenţialului câmpului este necesar să se aplice principiul superpoziţiei. Se împarte inelul (fig.1.2) în segmente elementare. Fiecare segment elementar se poate considera ca sarcină punctiformă dq. Potenţialul format de această sarcină în punctul C, este

$$\delta\varphi = \frac{dq}{4\pi\varepsilon_0 r}, \qquad (1)$$

unde r este distanţa de la elementul cu sarcina dq până la punctul C.

Potenţialul câmpului rezultant se obţine integrând expresia (1)

$$\varphi = \int_q \frac{dq}{4\pi\varepsilon_0 r}. \tag{2}$$

Dacă se uneşte cu centrul inelului un sistem spaţial de coordonate, atunci proiecţia vectorului intensităţii E pe axele de coordonate se poate determina prin diferenţierea expresiei (2) pentru potenţial după coordonata z.

Rezolvare:

La trecerea de la un element la altul mărimea $r = \sqrt{R^2 + z^2}$ este constantă. Atunci expresia (2) poate fi transformată astfel,

$$\varphi_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 (R^2 + z^2)^{1/2}} \int_q dq. \tag{3}$$

a) Ca şi în cazul distribuţiei uniforme a sarcinii pe inel, şi al distribuţiei neuniforme în punctele ce se află pe axa inelului, potenţialul poate fi determinat din relația

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 (R^2 + z^2)^{1/2}}. \tag{4}$$

Proiecţia vectorului intensităţii pe axa *oz* este:

$$E_z = -\frac{d\varphi}{dz} = -\frac{q \cdot z}{4\pi\varepsilon_0 (R^2 + z^2)^{3/2}} \tag{5}$$

La distribuţia uniformă a sarcinii pe inel, din condiţiile de simetrie, rezultă că vectorul $\vec{E}$ este îndreptat în lungul axei *Oz*. Vectorii $\vec{E}_x = \vec{E}_y = 0$, $\vec{E} = \vec{E}_z m$, unde m este numărul elementelor inelului de lungimea dl cu sarcina punctiformă dq.

Pentru $z > 0$, dacă sarcina este pozitivă $\vec{E}_z > 0$, vectorul $\vec{E}$ este îndreptat perpendicular în sus în sensul pozitiv al axei *Oz*.

Pentru $z<0$, $\vec{E}_z<0$ şi vectorul rezultant $\vec{E}$ este îndreptat în jos, în sensul negativ al axei *Oz*.

b) Pentru distribuţia neuniformă a sarcinii pe inel expresia (2) şi, deci şi (5) nu se modifică, însă $\vec{E}_x$ şi $\vec{E}_y$ nu sunt egali cu zero şi depind esenţial de distribuţia sarcinii pe inel. Pentru a determina $\vec{E}_x$ şi $\vec{E}_y$ în punctele ce se află pe axa *oz* este necesar să se determine potenţialul φ într-un punct arbitrar al spaţiului, $(x\neq 0,\ y\neq 0)$, iar prin diferenţiere se obţin expresiile pentru $\vec{E}_x$ şi $\vec{E}_y$ şi, în final, în aceste expresii se înlocuieşte $x=0,\ y=0$.

La distribuţia neuniformă a sarcinii, potenţialul punctului *C* rămâne constant, iar intensitatea câmpului se modifică.

<u>Problema 3</u>

Un electron fără viteză iniţială, accelerat de o diferenţă de potenţial $10kV$ ajunge între plăcile unui condensator plan încărcat la diferenţa de potenţial $100V$ pe o linie *AB* paralelă cu plăcile (fig.1.3). Distanţa dintre plăci este $2\cdot 10^{-2}m$. Lungimea plăcilor condensatorului este $0{,}2m$. Să se determine devierea *BC* pe ecranul *EQ*, amplasat la distanţa $l_2=1m$ faţă de condensator.

<u>Analiză:</u>

Mişcarea electronului între plăcile condensatorului este compusă din două mişcări:

În primul rând, electronul, din inerţie, se va deplasa cu viteza $\upsilon_0=const$, obţinută sub acţiunea diferenţei de potenţial U_0, înainte de a intra între plăcile condensatorului.

În al doilea rând, electronul se va deplasa uniform accelerat în direcţie verticală spre placa încărcată pozitiv sub acţiunea forţei constante ce acţionează asupra lui datorită câmpului condensatorului.

La ieşirea din condensator, electronul se va deplasa uniform cu viteza υ de care dispunea în punctul *M*.

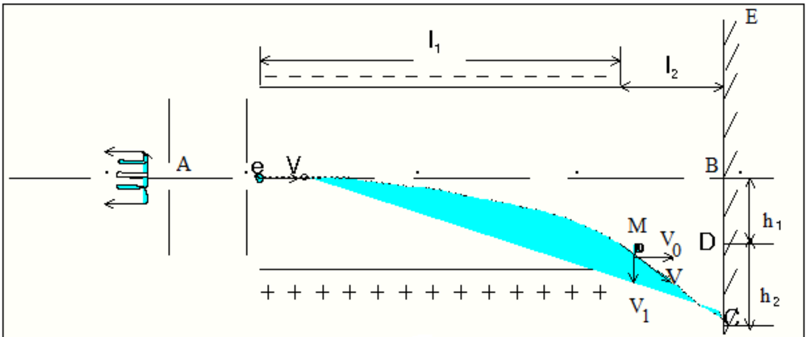


Fig. 1.3

Rezolvare:

Din figura 1.3 este evident că distanţa

$$BC = h_1 + h_2,$$

unde: h_1 este distanţa pe care se va deplasa electronul în direcţie verticală în timpul mişcării în condensator, h_2 este distanţa dintre punctul *D* pe ecran, în care electronul ar fi nimerit mişcându-se la ieşirea din condensator în direcţia vitezei iniţiale $\vec{\upsilon}_0$ şi punctul *C* în care cade electronul.

Calculăm consecutiv distanţele h_1 şi h_2.

Folosind relaţia spaţiului parcurs la mişcarea uniform accelerată, se obţine:

$$h_1 = \frac{at^2}{2}, \tag{1}$$

unde: a este acceleraţia primită de electron sub acţiunea câmpului condensatorului;

t - timpul de deplasare al electronului prin condensator.

Conform legii a doua a lui Newton,

$$a = \frac{F}{m}, \tag{2}$$

De asemenea

$$F = eE = \frac{eU_1}{d}, \qquad (3)$$

unde: e - sarcina electronului;

U_1 - diferenţa de potenţial între plăcile condensatorului;

d - distanţa între plăcile condensatorului.

Timpul de deplasare al electronului în interiorul condensatorului se poate determina din relaţia:

$$l_1 = \upsilon_0 t; \qquad t = \frac{l_1}{\upsilon_0}, \qquad (4)$$

unde: l_1 este lungimea plăcilor condensatorului.

Viteza υ_0 se poate determina din condiţia egalităţii lucrului efectuat de câmp cu energia cinetică de deplasare a electronului:

$$\frac{m\upsilon_0^2}{2} = eU_0,$$

$$\upsilon_0^2 = \frac{2eU_0}{m}. \qquad (5)$$

Înlocuind în relaţia (1) consecutiv expresiile lui a, F, t şi υ_0^2 din relaţiile (2), (3), (4), (5) se obţine

$$h_1 = \frac{U_1 \cdot l_1^2}{4dU_0}. \qquad (6)$$

Lungimea segmentului h_2 se determină din asemănarea triunghiurilor MDC şi al vectorilor vitezei:

$$h_2 = \frac{\upsilon_1 l_2}{\upsilon_0}, \qquad (7)$$

unde: υ_1 este viteza electronului în punctul *M*, pe direcţia verticală;

l_2 fiind distanţa dintre condensator şi ecran.

Viteza υ_1 poate fi determinată din

$$\upsilon_1 = at, \qquad (8)$$

care luând în considerare relaţiile (2), (3), (4) ia forma

$$\upsilon_1 = \frac{eU_1 l_1}{dm\upsilon_0}, \qquad (9)$$

Înlocuind această relaţie în expresia (7) se obţine:

$$h_2 = \frac{eU_1 l_1 l_2}{d\, m\upsilon_0}. \qquad (10)$$

sau înlocuind υ_0^2 din relaţia (5) rezultă

$$h_2 = \frac{U_1 l_1 l_2}{2dU_0}. \qquad (11)$$

În final, pentru distanţa BC rezultă:

$$BC = h_1 + h_2 = \frac{U_1 l_1^2}{4dU_0} + \frac{U_1 l_1 l_2}{2dU_o} = \frac{U_1 l_1}{2dU_0}(\frac{l_1}{2} + l_2). \qquad (12)$$

Inlocuind valorile numerice în expresia (12) se obţine

$$BC = \frac{100 \cdot 0{,}2}{2 \cdot 0{,}02 \cdot 10^4}(\frac{0{,}2}{2} + 1) = 5{,}5 \cdot 10^{-2}\, m.$$

<u>Problema 4</u>

Un condensator plan cu suprafaţa plăcilor $S = 500 cm^2$ este conectat la o sursă de tensiune electromotoare de $\varepsilon = 300V$. Să se determine lucrul forţelor exterioare la deplasarea plăcilor de la distanţa $d_1 = 1cm$ la $d_2 = 3cm$ în două cazuri:

1) la deplasarea plăcilor, condensatorul este deconectat de la sursă;
2) plăcile condensatorului, rămân conectate la sursă.

Rezolvare:

În primul caz sistemul de două plăci încărcate şi deconectate de la sursă se poate considera ca un sistem izolat pentru care este valabilă legea conservării energiei. În acest caz, lucrul L al forţelor exterioare este egal cu variaţia energiei sistemului

$$\Delta W = W_2 - W_1,$$

unde: W_2 este energia câmpului condensatorului în poziţia finală (plăcile condensatorului se află la distanţa d_2);

W_1 - energia câmpului în condiţiile iniţiale (plăcile se află la distanţa d_1).

$$L = W_2 - W_1 . \qquad (1)$$

Energiile W_1 şi W_2 se pot exprima prin sarcina q a plăcilor, deoarece sarcina plăcilor în cazul deconectării de la sursă rămâne constantă.

Înlocuind în (1) expresiile:

$$W_2 = \frac{q^2}{2C_2} \qquad \text{şi} \qquad W_1 = \frac{q^2}{2C_1},$$

se obţine

$$L = \frac{q^2}{2C_2} - \frac{q^2}{2C_1} = \frac{q^2}{2}\left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}\right). \qquad (2)$$

Exprimând în această relaţie (2) sarcina q prin tensiunea electromotoare ε şi capacitatea iniţială C_1

$$q = C_1\varepsilon ,$$

rezultă:

$$L = \frac{{C_1}^2\varepsilon^2}{2}\cdot\left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}\right). \qquad (3)$$

Inlocuind în relaţia (3) expresiile capacităţilor:

$$\left(C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1} \qquad \text{şi} \qquad C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_2}\right)$$

se obţine

$$L = \frac{{\varepsilon_0}^2 S^2\varepsilon^2}{2{d_1}^2}\cdot\left(\frac{d_2}{\varepsilon_0 S} - \frac{d_1}{\varepsilon_0 S}\right). \qquad (4)$$

după simplificare cu $\varepsilon_0 S$, obținem

$$L = \frac{\varepsilon_0 S\varepsilon^2}{2d_1^2}\cdot\left(d_2 - d_1\right). \qquad (5)$$

Înlocuindu-se valorile numerice şi efectuând calculele necesare, rezultă

$$L = \frac{8{,}85\cdot10^{-12}\cdot5\cdot10^{-2}\cdot300^2}{2(10^{-2})^2}2\cdot10^{-2} = 3{,}9\cdot10^{-6}\,J .$$

2. În cazul în care plăcile rămân conectate la sursă şi sistemul de două plăci nu poate fi considerat izolat (sarcinile de pe plăci, la mărirea distanţei dintre ele, se vor deplasa spre bornele sursei), în acest caz, legea conservării energiei, nu poate fi aplicată.

Analiză:

La deplasarea plăcilor condensatorului:

a) diferenţa de potenţial dintre ele rămâne constantă $(U = \varepsilon)$;

b) capacitatea se va micşora $(C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{d})$;

c) se va micşora şi sarcina de pe plăci $(q = CU)$;

d) se va micşora intensitatea câmpului electric $(E = \dfrac{U}{d})$.

Deoarece mărimile E şi q, necesare pentru determinarea lucrului, sunt variabile, calculul lucrului se efectuează prin metoda integrării.

Se scrie expresia pentru lucrul elementar

$$dL = qE_1 dx, \tag{1}$$

unde E_1 este intensitatea câmpului creat de sarcina unei plăci.

Se exprimă intensitatea câmpului E_1 şi a sarcinii q în funcţie de mărimea variabilei x, ce determină distanţa dintre plăci:

$$E_1 = \frac{\varepsilon}{2x}, \tag{2}$$

$$q = C\varepsilon,$$

sau

$$q = \frac{\varepsilon_0 S \varepsilon}{x}. \tag{3}$$

Înlocuind expresiile prin E_1 din relaţia (2) şi q din relaţia (3) în expresia (1) se obţine

$$dL = \left[\frac{\varepsilon_0 S \varepsilon^2}{2x^2}\right] dx. \tag{4}$$

Integrând expresia obţinută în limitele d_1 şi d_2 rezultă expresia lucrului căutat

$$L=\frac{\varepsilon_0 S\varepsilon^2}{2}\int_{d_1}^{d_2}\frac{dx}{x^2}=\frac{\varepsilon_0 S\varepsilon^2}{2}\left(-\frac{1}{x}\right)\Big|_{d_1}^{d_2}, \tag{5}$$

sau

$$L=\frac{\varepsilon_0 S\varepsilon^2}{2}\left(\frac{1}{d_1}-\frac{1}{d_2}\right)=\frac{\varepsilon_0 S\varepsilon^2}{2(d_1 d_2)}(d_2-d_1)=$$

$$=\frac{1}{2}\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot\frac{5\cdot 10^{-2}\cdot(3\cdot 10^2)^2}{1\cdot 10^{-2}\cdot 3\cdot 10^{-2}}(3\cdot 10^{-2}-1\cdot 10^{-2})=1{,}33\cdot 10^{-6}\,J.$$

Problema 5

Să se determine rezistenţa în curent continuu a unui conductor ce constă din două conductoare, interior şi exterior, conectate în paralel (fig.1.4). Spaţiul dintre conductorul interior, confecţionat din cupru, şi cel exterior, confecţionat din fier, este umplut cu un dielectric. Rezistivitatea acestor metale la temperatura de $20^0 C$ are valorile $\rho_1 = 10^{-9}\,\Omega\cdot m$ şi respectiv, $\rho_2 = 9\cdot 10^{-8}\,\Omega\cdot m$. Calculele se vor efectua pentru *l = 6,28m, d = 1mm, D = 4,0mm, b = 0,5mm.* Se consideră $b \ll D$.

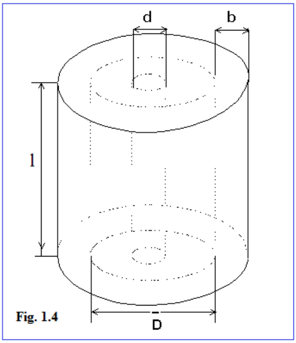


Fig. 1.4

Rezolvare:

Fie R_1 rezistenţa conductorului central de cupru şi R_2 - rezistenţa conductorului exterior din fier. Rezistenţa totală va fi egală cu:

$$R=\frac{R_1 R_2}{(R_1+R_2)}. \tag{1}$$

Se exprimă rezistenţele R_1 *şi* R_2 prin rezistivităţi electrice ale conductoarelor şi parametrii lor geometrici:

$$R_1=\frac{\rho_1 l}{S_1}=\frac{4\rho_1 l}{\pi d^2}, \tag{2}$$

$$R_2 = \frac{\rho_2 l}{S_2} = \frac{4\rho_2 l}{\pi\left[(D+b)^2 - D^2\right]} \approx \frac{4\rho_2 l}{2\pi Db}. \tag{3}$$

Înlocuind aceste relaţii în (1) rezultă următoarea relație

$$R = \frac{l\rho_1 \rho_2}{\rho_1 S_2} + \rho_2 S_1 \approx \frac{4l}{\pi} \cdot \left\{ \frac{\rho_1 \rho_2}{(2Db\,\rho_1 + d^2 \rho_2)} \right\}$$

(4)

Efectuând calculul numeric, obținem $R = 0{,}08\Omega$.

Problema 6

Să se determine sarcina ce trece printr-un conductor cu rezistenţa $r = 3\Omega$ la creşterea uniformă a tensiunii la capetele conductorului de la $U_0 = 2V$ până la $U = 4V$ în timp de $t = 20s$.

Rezolvare:

Deoarece intensitatea curentului în conductor este variabilă, relaţia $q = It$ nu se poate utiliza pentru calcul. Este necesar să se considere diferenţiala acestei expresii

$$dq = Idt, \tag{1}$$

şi integrala

$$q = \int_0^t Idt. \tag{2}$$

Utilizând legea lui Ohm, rezultă

$$q = \int_0^t \left(\frac{U}{r}\right) dt. \tag{3}$$

În acest caz, tensiunea U este variabilă. Considerând că tensiunea creşte uniform ea poate fi exprimată prin relaţia

$$U = U_0 + Bt, \tag{4}$$

unde B este coeficient de proporţionalitate.

Introducând expresia pentru U în relaţia (3), se obţine:

$$q = \int_0^t \left(\frac{U_0}{r} + \frac{Bt}{r} \right) dt = \frac{U_0}{r} \int_0^t dt + \int_0^t \frac{B}{r} t dt , \qquad (5)$$

Integrând, obținem:

$$q = \frac{U_0 t}{r} + \frac{Bt^2}{2r} = \frac{t}{2r}(2U_0 + Bt) . \qquad (6)$$

Valoarea coeficientului B se poate determina din relaţia (4), luând în considerare faptul că la momentul de timp $t = 20s$ tensiunea devine egală cu $U = 4V$.

$$B = \frac{U - U_0}{t} = \frac{4V - 2V}{20s} = 0{,}1\frac{V}{s} .$$

Înlocuind valorile numerice în relaţia (6), obținem

$$q = \left(\frac{20s}{2 \cdot 3\Omega} \right) \cdot (2 \cdot 2V + 0{,}1\frac{V}{s} \cdot 20s) = 20C.$$

Problema 7

Să se determine intensitatea curenţilor în toate braţele punţii lui Wheatstone, (fig.1.5) dacă: $R_1 = 1\Omega,$ $R_2 = 2\Omega,$ $R_3 = 3\Omega,$ $R_4 = 6\Omega$, $R_G = 2\Omega,$ $\varepsilon = 2V$, rezistenţa internă a sursei $r = 1\Omega$.

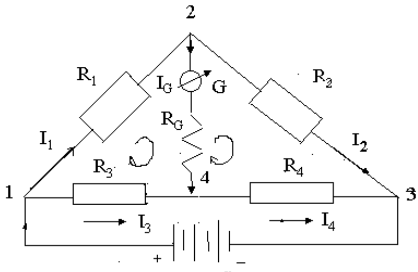


Fig. 1.5

Rezolvare:

Se aplică legile lui Kirchhoff pentru aceste braţe, indicând pe desen direcţiile curenţilor şi sensurile de parcurgere a contururilor.
Pentru nodurile:

1. $I = I_1 + I_3$, 2. $I_1 = I_G + I_2$, 3. $I_4 = I_3 + I_G$.

Pentru contururile:

$1-2-4-1$, $I_1R_1 + I_GR_G - I_3R_3 = 0$,

$2-3-4-2$, $I_2R_2 - I_4R_4 - I_GR_G = 0$,

$1-2-3-\varepsilon-1$. $I_1R_1 + I_2R_2 + Ir = \varepsilon$.

Se obţin şase ecuaţii cu şase necunoscute. Rezolvând acest sistem şi utilizând valorile numerice din problemă rezultă:

$I_1 = 1{,}2A$, $I_4 = 0{,}4A$,

$I_2 = 1{,}2A$, $I_G = 0$,

$I_3 = 0{,}4A$, $I = 1{,}6A$.

Problema 8

Ce cantitate de căldură se va degaja într-o spirală cu rezistenţa *1000 Ω* la trecerea prin ea a cantităţii de sarcină $q = 0{,}3C$, dacă intensitatea curentului se micşorează uniform până la zero în timpul $T = 0{,}5s$?

Rezolvare:

Deoarece, din condiţiile problemei, curentul se micşorează până la zero uniform, dependenţa intensităţii curentului de timp poate fi exprimată ca o funcţie liniară descrescătoare în timp.

$$I(t) = I_0 - At.$$

Legătura dintre coeficienţii necunoscuţi I_0 şi A se determină din condiţiile iniţiale.

$$I\big|_{t=T} = 0, \qquad \text{astfel încât} \qquad A = \frac{I_0}{T}.$$

Valoarea iniţială a intensităţii curentului I_0 se determină calculând cantitatea totală de sarcină q ce trece prin spirală în timpul T

$$q = \int_0^T I(t)dt = \frac{1}{2} I_0 T. \qquad (1)$$

Cantitatea de sarcină este numeric egală cu suprafaţa triunghiului haşurat pe desen (fig.1.6). Deci, dependenţa curentului de timp poate fi exprimată prin expresia

$$I(t)=\frac{2q(1-\frac{t}{T})}{T}, \qquad 0\le t\le T. \tag{2}$$

Din legea lui Joule-Lentz, rezultă că, căldură elementară ce se degajă în spirală, este

$$dQ=I^2(t)Rdt, \tag{3}$$

Deci, căldura totală poate fi calculată folosind pentru $I(t)$ expresia (2):

$$Q=R\int_0^T I^2(t)dt=\frac{4q^2R}{T^2}\int_0^T(1-\frac{t}{T})^2dt=\frac{4}{3}\frac{q^2R}{T}. \tag{4}$$

Cantitatea de căldură este numeric egală cu suprafaţa figurii, indicată în fig.1.6, mărginită în partea superioară de o parabolă. Înlocuind valorile numerice în (4) obţinem $Q=240\,J$.

Problema 9

Între plăcile unui condensator, având suprafaţa fiecărei plăci egală cu $250cm^2$, se găsesc $375cm^3$ de hidrogen. Concentraţia ionilor în gaz este de $5{,}3\cdot10^7\,cm^{-3}$. Ce diferenţă de potenţial trebuie aplicată între plăcile condensatorului pentru a obţine un curent cu intensitatea de $2\mu A$. Mobilitatea ionilor: pozitivi $U_+=5{,}4\frac{cm^2}{Vs}$;

negativi $U_-=7{,}4\frac{cm^2}{Vs}$.

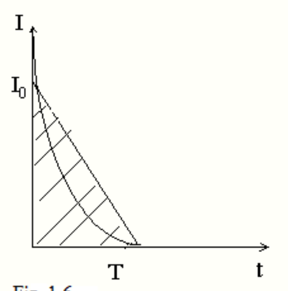


Fig. 1.6

Rezolvare:

Tensiunea U la plăcile condensatorului este legată de intensitatea E a câmpului electric şi distanţa d dintre plăci prin relaţia

$$U = Ed \,. \qquad (1)$$

Intensitatea E a câmpului electric poate fi determinată din expresia densităţii curentului

$$j = qn_0(U_+ + U_-) \cdot E \,,$$

prin urmare $$E = \frac{j}{qn_0(U_+ + U_-)} = \frac{I}{qn_0(U_+ + U_-)S} \,.$$

(2)

Deoarece volumul spaţiului cuprins între plăcile condensatorului este Sd, atunci

$$d = \frac{V}{S} \,.$$

(3)

Înlocuind expresiile pentru E şi d din (2) şi (3) în expresia (1), și efectuând calculele numerice, rezultă că diferența de potențial

$$U = \frac{IV}{qn_0(U_+ + U_-)S^2} = 100V.$$

(4)

<u>Problema 10</u>

La electroliza unei soluţii de $AgNO_3$ timp de $t = 0{,}5h$ se depun $m = 4{,}8g$ de argint. Să se determine tensiunea de polarizare ε_{pol}, dacă tensiunea aplicată la bornele băii electrolitice este $U = 4{,}6V$ şi rezistenţa băii de $R = 1{,}6\Omega$.

Rezolvare:

Conform legii lui Faraday $m = kIt$, intensitatea curentului $I = \frac{m}{kt}$. Este cunoscut faptul că tensiunea de polarizare este întotdeauna îndreptată în sens opus tensiunii aplicate la bornele băii de electroliză. Din aceste considerente, legea lui Ohm poate fi exprimată astfel

$$I = \frac{(U - \varepsilon_{pol})}{R}.$$

Deci, se poate scrie

$$\frac{m}{kt} = \frac{(U - \varepsilon_{pol})}{R}.$$

Prin urmare,

$$\varepsilon_{pol} = U - \frac{m}{kt}R = 0{,}77V \approx 0{,}8V.$$

P R O B L E M E

1.1. În centrul unui pătrat, în vârfurile căruia se află sarcini egale cu $q = 2.33 \cdot 10^{-9} C$ este plasată o sarcină negativă q_0. Să se determine mărimea acestei sarcini, dacă sistemul este în echilibru, forţa rezultantă este $F = 0$. $(R.: -2,23 \cdot 10^{-9} C)$

1.2. Două sarcini punctiforme $q_1 = 7,5 \cdot 10^{-9} C$ şi $q_2 = -1,4 \cdot 10^{-9} C$ sunt plasate la distanaţa $r = 5cm$. Să se determine intensitatea câmpului electric în punctul aflat la distanţa $a = 3cm$, de la sarcina pozitivă, şi $b = 4cm$, de la sarcina negativă. $(R.: 75,4 \cdot 10^3 V/m)$

1.3. Două bile cu raze şi mase egale sunt agăţate pe două fire de aceeaşi lungime astfel, încât suprafeţele lor sunt în contact. Cu ce sarcină q trebuie încărcate bilele, astfel încât forţa de tensiune a firelor să devină $T = 98 mN$. Distanţa de la centrul bilei până la punctul de agăţare este $l = 0,1m$, masa fiecărei bile este $m = 5 \cdot 10^{-3} kg$. $(R.: 1,1 \cdot 10^{-6} C)$

1.4. Două bile cu raze şi mase egale sunt suspendate de fire de aceeaşi lungime şi sunt introduse într-un dielectric lichid cu densitatea ρ şi permitivitatea dielectrică ε. Cât trebuie să fie densitatea bilelor, astfel încât unghiul format de fire, datorită respingerii, să fie acelaşi, atât în aer, cât şi în lichid. $\left(R.: \dfrac{\varepsilon\rho}{\varepsilon - 1}\right)$

1.5. Fig. 1.7 AA' reprezintă un plan infinit încărcat cu sarcină electrică, B este o bilă cu masa $m = 0,4 \cdot 10^{-6} kg$, încărcată cu sarcină de acelaşi semn ca şi planul, şi egală cu $q = 667 \cdot 10^{-12} C$. Forţa de tensiune în firul de care este agăţată bila este $T = 0,49 \cdot 10^{-3} N$. Să se determine densitatea superficială a sarcinii σ a planului infinit AA'.
$\left(R.: 7,8 \cdot 10^{-6} C/m^2\right)$

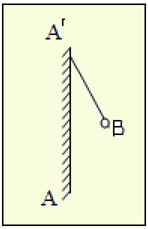


Fig. 1.7

1.6. Să se determine forţa F, care acţionează asupra unei sarcini $q = 2 \cdot 10^{-9} C$, la distanţa $r = 2cm$: **a)** faţă de un fir infinit încărcat cu densitatea liniară de sarcină $\tau = 0,2 \cdot 10^{-6} C/m$; **b)** în câmpul format de un plan infinit încărcat cu densitatea superficială de sarcină $\sigma = 20 \cdot 10^{-6} C/m^2$; **c)** în faţa unei bile încărcate de raza $R = 2cm$ şi densitatea superficială de sarcină $\sigma = 20 \cdot 10^{-6} C/m^2$. Permitivitatea dielectrică a mediului este $\varepsilon = 6$ $(R.: 20 \cdot 10^{-6} N;\ 126 \cdot 10^{-6} N;\ 62,8 \cdot 10^{-6} N)$.

1.7. O bilă de aramă cu raza $R = 0,5cm$ este scufundată în ulei. Să se determine sarcina bilei q, dacă într-un câmp electric omogen bila se află în stare de echilibru în ulei. Câmpul electric este îndreptat vertical în sus şi intensitatea sa are valoarea $E = 3,6 \cdot 10^6 V/m$. Densitatea uleiului este $\rho_u = 0,8 \cdot 10^3 kg/m^3$ (Vezi indicațiile).
(R.: $11 \cdot 10^{-9} C$)

1.8. Două plane infinite paralele sunt încărcate uniform cu sarcini de densităţile σ_1 şi σ_2. Se cere:

a) utilizând teorema lui Gauss şi principiul superpoziţiei câmpurilor electrice, aflaţi expresia $E(r)$ pentru intensitatea câmpului electric în afara planelor precum şi între plane. Consideraţi $\sigma_1 = 2\sigma,\ \sigma_2 = \sigma$.

b) calculaţi intensitatea câmpului electric într-un punct situat în stânga planelor şi indicaţi sensul vectorului $\vec{E}$ dacă densitatea superficială este $\sigma = 20 nC/m^2$.

c) construiţi graficul dependenţei $E(r)$.

$$\left(R.: \frac{3\sigma}{2\varepsilon_0};\ \frac{\sigma}{2\varepsilon_0};\ -3,39 \cdot 10^3\ \frac{V}{m} \right)$$

1.9. Vezi condițiile problemei **1.8**. În p. **a)** considerați $\sigma_1 = -4\sigma,\ \sigma_2 = 2\sigma$. În p. **b)** considerați $\sigma = 40 nC/m^2$ și punctul situat între cele două plane. Construiți graficul dependenței $E(r)$.

$$\left(R.: \frac{\sigma}{\varepsilon_0}; -\frac{3\sigma}{\varepsilon_0}; -\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}; -13,6\,kV/m \right)$$

1.10. Să se demonstreze că intensitatea câmpului electric produs de un fir de lungime finită, încărcat cu sarcină electrică, este la limită egal cu câmpul electric: **a)** al unui fir infinit încărcat; **b)** al unei sarcini punctiforme. (Vezi indicaţiile) $\left(R.: \frac{\tau\, l}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a\sqrt{a^2+\left(l/2\right)^2}} \right)$

1.11. Un inel cu raza $R=10cm$, realizat dintr-un material conductor este încărcat cu sarcină electrică negativă $q=5\cdot 10^{-9}C$. Să se determine intensitatea câmpului electric E pe axa inelului în punctele aflate pe axă la distanţele L, egale cu $0, 5, 8, 10$ şi $15cm$ faţă de centrul inelului. Să se construiască graficul $E=f(L)$. La ce distanţă L intensitatea câmpului electric va avea valoarea maximă? (Vezi indicaţiile) $\left(R.:7,1\,cm\right)$

1.12. Un fir conductor de lungime $2a$ este incărcat cu sarcina q și plasat în vid. Să se determine intensitatea câmpului electric în funcţie de distanţa h faţă de centrul firului, măsurată: a) pe direcţie perpendiculară pe centrul firului; b) pe direcţia firului. (Vezi răspunsul în indicaţii)

1.13. Un semiinel subțire de rază $R=10cm$ este încărcat uniform cu sarcina de densitate $\tau=1\,\mu C/m$. Calculați intensitatea câmpului electric creat de semiinelul încărcat, în centrul lui. (Răspunsul în indicaţii)

1.14. Un fir conductor încărcat cu densitatea liniară de sarcină τ are configuraţia din figurile alăturate. (fig.1.8)

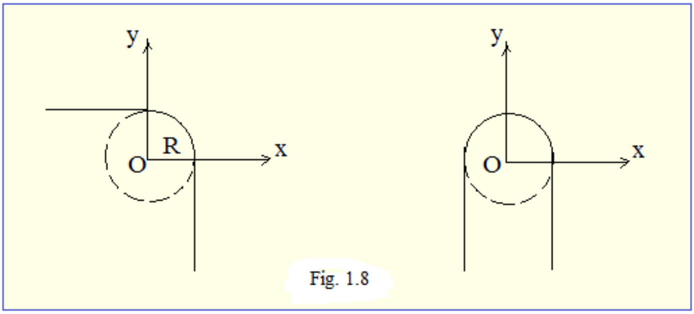


Fig. 1.8

Cunoscând raza de curbură R, mult mai mică decât lungimea firului, să se determine intensitatea câmpului electric în punctul O. (Vezi răspunsul în indicaţii)

1.15. Pe un inel conductor de raza $R = 60cm$ este uniform repartizată sarcina $q = 20nC$. Considerând axa x din centrul inelului să se determine potenţialul φ ca funcţie de *x*. (Vezi răspunsul în indicaţii)

1.16. Un inel subţire de rază $R = 10cm$ este încărcat uniform cu sarcină de densitate liniară $\tau = 10\ nC/m$. Determinaţi potenţialul câmpului electric, în punctul aflat pe axa inelului la distanţa $x = 5cm$ de la centrul lui. Construiţi graficul dependenţei $\varphi(x)$. $\left(R.:5V\right)$

1.17. O bară conductoare rectilinie şi subţire este încărcată uniform cu sarcină de densitate liniară $\tau = 10\ nC/m$. Calculaţi potenţialul câmpului electric φ, creat de această sarcină în punctul situat pe axa dusă de-a lungul barei la distanţa egală cu lungimea ei de la capătul cel mai apropiat. $\left(R.:q_1 = 64,1C; q_2 = -31,6C;\right)$

1.18. O bilă metalică de raza R este încărcată până la potențialul de *400V*. Ce viteză minimă trebuie să aibă un proton ce zboară radial spre bilă, în punctul situat la distanța *4R* de la centrul ei, pentru ca protonul să atingă suprafața bilei? (*R.*: $2,4\cdot10^5$ *m/s*)

1.19. Două bile metalice similare de raza $r = 2,5cm$ încărcate cu sarcină electrică se află la distanța $a = 1m$ una de alta. Potențialele bilelor sunt $\varphi_1 = +1200V$ și $\varphi_2 = -1200V$. Determinați sarcina electrică a fiecării bile. (Vezi răspunsul în indicaţii)

1.20. O bară subţire cu lungimea de $10cm$ este încărcată uniform cu sarcina de $1nC$. Calculaţi potenţialul câmpului electric φ, creat de această sarcină în punctul situat pe axa dusă de-a lungul barei la distanţa de $20cm$ de la capătul cel mai apropiat al ei. $\left(R.:62V\right)$

1.21. Permitivitatea unei sfere dielectrice neomogene de rază R, aflată în vid, se modifică după legea $\varepsilon(r) = \varepsilon_0\left(\frac{r}{R} + 2\right)$. Să se calculeze câmpul electric produs de o sarcină Q, distribuită uniform în sferă. (Vezi răspunsul în indicaţii)

1.22. Să se calculeze capacitatea unei sfere conductoare de rază R_0, care este înconjurată cu un strat dielectric, sferic, concentric cu sfera, de rază exterioară R şi permitivitate ε. (Vezi răspunsul în indicaţii)

1.23. O bilă cu raza de $10cm$ din dielectric $(\varepsilon = 3)$ este încărcată uniform cu sarcină de densitate $\rho = 50nC/m^3$. Intensitatea câmpului electric în interiorul şi pe suprafaţa bilei se exprimă prin formula $E = \frac{\rho \cdot r}{3\varepsilon\varepsilon_0}$, unde r este distanţa de la centrul bilei. Calculaţi diferenţa de potenţial dintre centrul bilei şi punctele situate pe suprafaţa acesteia. $\left(R.:3{,}138\ V\right)$

1.24. Un condensator plan, aflat în vid, are una din armături fixă, iar cealaltă suspendată de un resort de constantă k (fig.1.9).
Aria armăturilor este S, iar distanţa dintre ele este a (când condensatorul este descărcat). Să se calculeze sarcina maximă q_{max} cu care pot fi încărcate armăturile. (Vezi răspunsul în indicaţii)

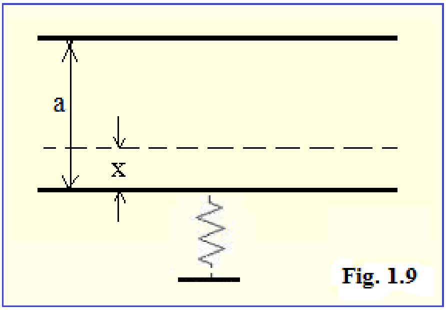


Fig. 1.9

1.25. Să se arate că între plăcile unui condensator plan câmpul electric variază uniform cu distanţa măsurată de la una din armături. (Vezi răspunsul în indicaţii)

1.26. O bilă cu masa $m = 40 \cdot 10^{-3} kg$, încărcată cu sarcina electrică $q = 1 \cdot 10^{-9} C$, se mişcă cu viteza $\upsilon = 10 cm/s$. La ce distanţă minimă r poate să se apropie bila de o sarcină punctiformă fixă pozitivă $q = 1{,}33 \cdot 10^{-9} C$? (Vezi indicaţiile) $(R.: 6cm)$

1.27. La bombardarea unui atom de potasiu (Na), aflat în stare fixă, cu particule α forţa de respingere atinge valoarea $F = 140N$. La ce distanţă minimă r se apropie particula α de nucleul atomului de Na? Ce viteză va avea particula α? Influenţa învelişului electronic al atomului de Na se neglijează. (R.: $6 \cdot 10^{-15} m$, $1{,}6 \cdot 10^{7} m/s$)

1.28. Să se determine potenţialul electric al unui punct, în câmpul electric, punctul aflându-se la distanţa $r = 10cm$ faţă de centrul unei sfere încărcate. Raza sferei este $R = 1cm$. Să se rezolve problema, dacă: **a)** se cunoaște densitatea superficială a sarcinii electrice a sferei $\sigma = 0{,}1 \cdot 10^{-6} C/m^2$; **b)** se cunoaște potenţialul sferei $\varphi_0 = 300V$. $(R.: 11{,}3V;\ 30V)$

1.29. La fisiunea radioactivă a nucleului atomului de poloniu se emit particule α cu o viteză $\upsilon = 1{,}6 \cdot 10^{7} m/s$. Să se determine energia cinetică W_c a particulei α şi diferenţa de potenţial U a câmpului, în care ar putea accelera particula α din starea de repaus până la viteza de emitere indicată mai sus. $(R.: 8,5\cdot 10^{-13} J;\ 2,56\cdot 10^{6} V)$

1.30. Un câmp electric este produs de un fir infinit încărcat cu sarcină pozitivă, densitatea liniară a sarcinii fiind egală cu $\tau = 0,2\cdot 10^{-6}\ C/m$. Ce viteză ϑ va atinge un electron sub acţiunea câmpului, apropiindu-se de fir de la distanţa $r = 1cm$ la distanţa $r = 0,5cm$? $(R: V = 2,97\cdot 10^{7} m/s)$

1.31. Un condensator plan cu aer este alcătuit din două plăci circulare cu raza de $10\,cm$ fiecare. Distanţa dintre plăci este de $1cm$. Condensatorul a fost încărcat până la diferenţa de potenţial de $1,2\,kV$ şi apoi deconectat de la sursa de încărcare. Ce lucru trebuie efectuat pentru a deplasa plăcile condensatorului una faţă de alta până la distanţa de $3,5cm$? $\left(R.: 5\cdot 10^{-6}\ J\right)$

1.32. Diferenţa de potenţial între plăcile unui condensator plan este de $U = 90V$. Suprafaţa fiecărei plăci este $S = 60cm^2$, sarcina este $q = 10^{-9} C$. La ce distanţă d sunt plasate plăcile condensatorului? $(R.: 4,8\cdot 10^{-3} m)$

1.33. Un electron, parcurgând într-un condensator plan distanţa de la o placă la alta atinge o viteză de $\upsilon = 10^{6} m/s$. Distanţa dintre plăci este $d = 5,3\cdot 10^{-3} m$. Să se determine diferenţa de potenţial U dintre plăci, intensitatea câmpului electric E între plăci şi densitatea superficială a sarcinii σ pe plăcile condensatorului. $(R.: 2,8V;\ 530V/m;\ 4,7\cdot 10^{-9} C/m^2)$

1.34. Un electron deplasându-se cu viteza $\upsilon = 9\cdot 10^{6} m/s$ ajunge între plăcile unui condensator plan amplasat orizontal. Diferenţa de potenţial între plăci este $U = 100V$, iar distanţa dintre plăci de un $1cm.$ Să se determine acceleraţia tangenţială a_τ, normală a_n şi totală a a electronului în timpul $t = 10^{-8} s$ de la începutul mişcării în condensator. $(R.: 15,78\cdot 10^{14} m/s^2;\ 8\cdot 10^{14} m/s^2;\ 17,6\cdot 10^{14} m/s^2)$

1.35. Un electron se deplasează orizontal cu viteza $\upsilon = 3,6\cdot 10^{7} m/s$ între plăcile unui condensator plan amplasat orizontal. Intensitatea câmpului electric între plăcile condensatorului este $E = 3,7 \cdot 10^3 V/m$. Lungimea plăcilor condensatorului $l = 20cm$. La ce distanţă se va deplasa electronul în direcţia verticală sub acţiunea câmpului electric în timpul mişcării sale prin condensator? $(R.: 0,01m)$

1.36. Să se determine capacitatea C a globului Pământesc. Se va considera raza Pământului $R = 6400km$. Cu cât se va schimba potenţialul φ al globului Pământesc, dacă va fi încărcat cu o sarcină $q = 1C$? $(R.: 710\mu F; 1400V)$

1.37. O sferă, încărcată până la potenţialul $\varphi = 792V$, are densitatea superficială a sarcinii $\sigma = 333 \cdot 10^{-9} C/m^2$. Să se determine raza sferei. $(R.: 0,021\text{m})$

1.38. Care va fi potenţialul unei sfere cu raza $r = 3cm$ dacă: **a)** se încarcă cu o sarcină electrică de $q = 1 \cdot 10^{-9} C$; **b)** această sferă este introdusă în altă sferă concentrică de rază $R = 4cm$ conectată la Pământ ? $(R.: 300V; 75V)$

1.39. Cu ajutorul unui electrometru au fost comparate capacităţile a două condensatoare. Pentru aceasta ele au fost încărcate până la potenţialele iniţiale $\varphi_1 = 300V$ şi $\varphi_2 = 100V$, după ce au fost legate în paralel. Diferenţa de potenţial între plăcile condensatorului devine egală cu $U = 250V$. Să se determine raportul între capacităţi $\frac{C_1}{C_2}$.
$(R.: 3)$

1.40. Un condensator de capacitate $C_1 = 556\,pF$ a fost încărcat până la diferența de potențial de $1,5kV$ și deconectat de la sursă. Apoi la acest condensator a fost legat în paralel un alt condensator neîncărcat de capacitate $C_2 = 444\,pF$. Determinați energia consumată la formarea scânteii ce apare la legarea condensatoarelor.
(R.: $2,8 \cdot 10^{-4} J$)

1.41. Un condensator cu capacitatea $C = 20 \cdot 10^{-6} F$ este încărcat până la diferenţa de potenţial dintre armături $U = 100V$. Să se determine energia W a acestui condensator. $(R.: 0{,}1J)$

1.42. Spațiul dintre armăturile unui condensator plan cu volumul de $100 cm^3$ este umplut cu porțelan. Densitatea superficială de sarcină de pe armăturile condensatorului este de $8{,}85 nC/m^2$. Calculați lucrul mecanic necesar pentru înlăturarea dielectricului din condensator. Frecarea se neglijează. (R.: $3{,}54 \cdot 10^{-10} J$)

1.43. Suprafaţa plăcilor unui condensator plan, dielectricul fiind aerul, este de $S = 0{,}01 m^2$, distanţa dintre plăci $d = 5mm$. Ce diferenţă de potenţial U a fost aplicată între plăcile condensatorului, dacă se ştie, că la descărcarea acestuia se degajă o cantitate de căldură $Q = 4{,}19 mJ$? $(R.: 21{,}7 \cdot 10^3 V)$

1.44. Între placile unui condensator (dielectricul fiind aerul) se aplică diferenţa de potenţial $U = 6 \cdot 10^3 V$. Suprafaţele plăcilor sunt egale cu $S = 12{,}5 cm^2$, iar distanţa dintre ele $d = 5mm$. La un moment dat, plăcile condensatorului se îndepărtează la distanţa $d = 1cm$. Să se determine variaţia capacităţii condensatorului C, fluxului intensităţii câmpului de străpungere a dielectricului şi densitatea de volum a energiei câmpului electric, dacă sursa de tensiune până când are loc deplasarea este: **a)** conectată; **b)** deconectată. (R.:
$a) \Delta C = 1{,}1 \cdot 10^{-12} F;\ \Delta N_E = 750 V \cdot m;\ \Delta\omega = 48 \cdot 10^{-3} J/m^3$
$b) 1{,}1 \cdot 10^{-12} F;\ \Delta N_E = 0;\ \Delta\omega = 0$).

1.45. La un capăt al unui conductor cilindric de cupru de rezistenţă $R = 10\Omega$ (la 0^0C) se menţine temperatura $t_1 = 20^\circ C$, iar la celălalt – temperatura $t_2 = 400^\circ C$. Determinaţi care este rezistenţa conductorului dacă se consideră că gradientul temperaturii de-a lungul lui este constant. $(R.: 19\Omega)$

1.46. Sunt date 12 elemente galvanice cu t.e.m. de $1{,}5$V fiecare şi rezistenţele interioare de $0{,}4\Omega$. Cum pot fi conectate aceste elemente pentru a obţine de la bateria dată un curent maxim în partea exterioară a circuitului cu rezistenţa de $0,3\Omega$? Determinați valoarea maximă a intensităţii curentului. $(R.: 7,5\text{A})$

1.47. T.e.m. a unei baterii este de $20V$. Rezistenţa exterioară este de 2Ω, iar intensitatea curentului este de $4A$. Aflaţi randamentul bateriei. Pentru ce valoare a rezistenţei exterioare randamentul va fi de 99%? $(R.: 40\%;\ 4{,}95\Omega)$

1.48. T.e.m. a unei baterii este de $12V$, iar intensitatea curentului de scurt circuit este de $5A$. Ce putere maximă se poate obține în partea exterioară a circuitului conectat la această baterie? (R.: $15W$)

1.49. Câte spire din nichel-crom (cu rezistivitatea $\rho = 1\cdot10^{-4}\Omega m$, diametrul firului $d = 1mm$) trebuie înfăşurate pe un suport cilindric de farfor, pentru a confecţiona un element de încălzire cu rezistenţa $R = 40\Omega$. Raza cilindrului $r = 25mm$. $(R.: 200)$

1.50. Doi conductori, unul din aramă şi celălalt de aluminiu au lungimi l şi rezistenţe egale R. De câte ori este mai greu conductorul de aramă decât cel din aluminiu? $(R.: de\ 2,2\ ori)$

1.51. Un reostat confecţionat dintr-un conductor de fier, un ampermetru şi un generator sunt conectate în serie. La temperatura $t_0 = 0^\circ C$ rezistenţa reostatului este $R_0 = 120\Omega$, iar a ampermetrului de $R_{A0} = 20\Omega$. Ampermetrul indică $I_0 = 22mA$. Ce valoare a intensităţii curentului va arăta ampermetrul, dacă reostatul se va încălzi cu $\Delta T = 50K$? Coeficientul termic al rezistenţei fierului $\alpha = 6\cdot10^{-3}K^{-1}$. Rezistenţa ampermetrului R_A şi rezistenţa interioară a generatorului r se neglijază. $(R.: 17{,}5\cdot10^{-3}A)$

1.52. De la o baterie cu t.e.m. de $600V$ trebuie transportată energia la o distanță de $1km$. Puterea consumată este de $5kW$. Determinați pierderile de putere în circuit, dacă diametrul conductoarelor de cupru este de $0,5cm$. (R.:$14,4W$)

1.53. Un element cu tensiunea electromotoare $\varepsilon = 1{,}1V$ şi rezistenţa interioară $r = 1\Omega$ este conectat la un rezistor exterior $R = 9\Omega$. Să se determine intensitatea curentului I în circuit, tensiunea U în circuitul exterior şi tensiunea U_r în interiorul elementului. Cu ce randament lucrează elementul? $(R.: 0,11A;\ 0,99V;\ 0,11V; \eta = 0,9)$

1.54. Sursa de curent cu tensiunea electromotoare $\varepsilon = 1,6V$ are o rezistenţă interioară $r = 0,5\Omega$. Să se determine randamentul elementului η dacă intensitatea în circuit este $I = 2,4A$. $(R.: 25\%)$

1.55. Intensitatea curentului într-un conductor cu rezistența de 10Ω crește uniform de la $5A$ până la $10A$ în timp de $50s$. Determinați cantitatea de căldură degajată în acest timp în conductor. (R.: $28,12kJ$)

1.56. Se consideră două elemente cu tensiunile electromotoare $\varepsilon = 2V$ şi rezistenţele interioare egale $r = 0,3\Omega$. Cum trebuie conectate aceste elemente (în serie sau paralel) pentru a obţine un curent maxim, dacă rezistenţa exterioară este: **a)** $R = 0,2\Omega$; **b)** $R = 16\Omega$? Să se determine intensitatea curentului în fiecare din aceste două cazuri. $(R.: a)\ 5A;\ 5,7A;\ b)\ 0,24A;\ 0,124\ A)$

1.57. Un element, un ampermetru şi un rezistor sunt conectate în serie. Dacă rezistorul este din fir de aramă cu lungimea $l = 100m$ şi secţiunea transversală $S = 2mm^2$, atunci ampermetrul indică un curent $I_1 = 1,43A$. Dacă rezistorul este din fir de aluminiu cu lungimea $l = 57,3m$ şi secţiunea transversală $S = 1mm^2$, ampermetrul va indica un curent $I_2 = 1A$. Rezistenţa ampermetrului este $R = 0,05\Omega$. Să se determine tensiunea electromotoare ε a elementului şi rezistenţa lui interioară. $(R.: 2V;\ 0,5\Omega)$

1.58. În circuitul indicat în fig.1.10 t.e.m. a elementului este $\varepsilon = 120V$. Se dau rezistenţele $R_3 = 20\Omega, R_4 = 25\Omega$. Căderea de tensiune pe rezistenţa R_1 este $U_1 = 40V$. Ampermetrul indică curentul $I = 2A$. Determinați valoarea rezistenţei R_2. $(R.: 60\Omega)$

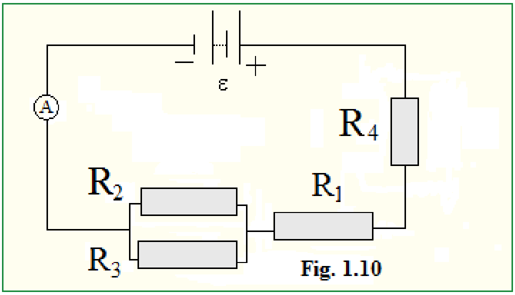


Fig. 1.10

1.59. T.e.m. a unei baterii (fig.3.11.) este $\varepsilon = 100V$, rezistenţa $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 200\Omega$ şi $R_3 = 300\Omega$, rezistenţa voltmetrului $R_V = 2\cdot 10^3\Omega$. Ce diferenţă de potenţial U va indica voltmetrul? $(R.: 80V)$

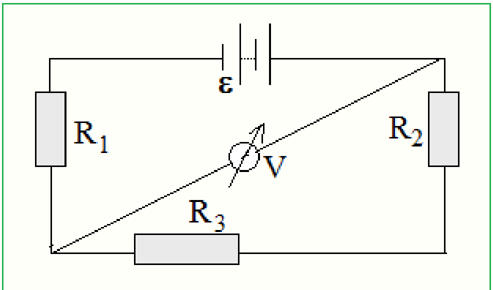


Fig. 1.11

1.60. Fie că avem un voltmetru care poate măsura diferenţe de potenţial până la $U_v = 30V$. Rezistenţa voltmertrului este $R_v = 2\cdot 10^3\Omega$, iar scara e împărţită în 150 diviziuni. Ce rezistenţă R trebuie luată şi cum trebuie să fie conectată, pentru ca acest voltmetru să poată măsura diferenţa de potenţial $U_0 = 75V$? Cum se va modifica constanta voltmetrului? (Vezi indicaţiile) $(R.: 3\cdot 10^3\Omega)$

1.61. Se consideră un bec electric cu tensiunea $120V$ şi puterea consumată $P = 40W$. Ce rezistenţă adiţională R trebuie conectată în serie cu becul, pentru ca să lumineze în condiţii normale la tensiunea $U = 220V$? Ce lungime l trebuie să aibă un fir de $NiCr$ cu

diametrul $d = 0,3mm$ pentru a avea această rezistenţă? Rezistivitatea $NiCr$ este $\rho = 10^{-6}\Omega m$.
(R.: $300\Omega; 21,2m$)

1.62. De la un generator cu tensiunea electromotoare $\varepsilon = 110V$ trebuie transmisă energie la distanţa $l = 250m$. Puterea consumată este $P = 1kW$. Să se determine secţiunea minimă a firelor de aramă ce servesc drept conductori, dacă pierderea de putere în circuit nu trebuie să depăşească 1%. $(R.: 78mm^2)$

1.63. Un element cu t.e.m. $\varepsilon = 2V$ şi rezistenţa interioară $r = 0,5\Omega$ este conectat la o rezistenţă exterioară R. Să se construiască graficul dependenţei de rezistenţa exterioară: **a)** a curentului I în circuit; **b)** a căderii de potenţial U în circuitul exterior; **c)** a puterii utile P şi puterii totale P_0 în funcţie de R. Valorile rezistenţei R se consideră între limitele $0 < R < 4\Omega$ peste fiecare $0,5\Omega$. (Vezi indicaţiile)

1.64. Ce putere posedă un încălzitor electric, dacă un volum de $1l$ de apă începe să fiarbă peste $5\min$? Care este rezistenţa încălzitorului dacă tensiunea în reţea este $U = 120V$? Temperatura iniţială a apei $t_0 = 13,5^0C$. $(R.: 1,2 \cdot 10^3 W; 12\Omega)$

1.65. Încălzitorul unui fierbător electric are două rezistenţe. La conectarea unei rezistenţe apa începe să fiarbă după $\tau_1 = 15\min$, la conectarea celei de-a doua rezistenţe după $\tau_2 = 30\min$. În cât timp va fierbe apa, dacă se conectează ambele rezistenţe: **a)** în serie; **b)** în paralel? $(R.: a)\ 45\min;\ b)\ 10\min)$

1.66. În circuitul indicat în fig.1.12 bateriile au tensiunea electromotoare $\varepsilon_1 = 110\,\mathrm{V}$ şi $\varepsilon_2 = 220\,\mathrm{V}$, rezistenţele au valorile $R_1 = R_2 = 100\Omega$, $R_3 = 500\Omega$. Să se determine indicaţia ampermetrului. $(R.: 0,4\,A)$

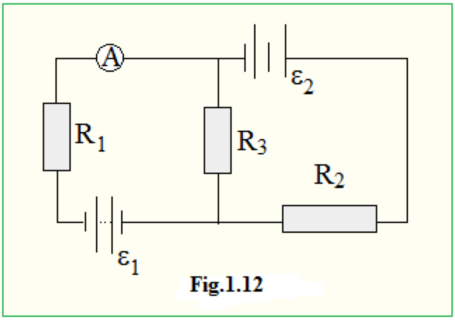


Fig.1.12

1.67. Bateriile din fig.1.12 au tensiunile electromotoare egale cu $\varepsilon_1 = 2\text{V}$ şi $\varepsilon_2 = 4\text{V}$, rezistenţa $R_1 = 0,5\Omega$. Căderea de potenţial pe rezistenţa R_2 este $U_2 = 1\text{V}$ (curentul prin R_2 este îndreptat de la dreapta la stânga). Să se determine indicaţia ampermetrului. (*R*.: 2A)

1.68. În circuitul reprezentat în fig.1.13 bateriile au tensiunile electromotoare $\varepsilon_1 = 2\text{V}$, $\varepsilon_2 = 4\text{V}$ şi $\varepsilon_3 = 6\text{V}$, rezistenţele au valorile $R_1 = 4\Omega,\ R_2 = 6\Omega,\ R_3 = 8\Omega.$ Să se determine curenţii în fiecare ramură a circuitului. (*R*.: 385mA, 77mA, 308mA)

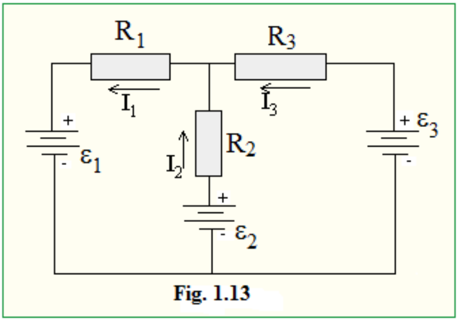


Fig. 1.13

1.69. Bateriile din fig.1.13 au tensiunile electromotoare $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 6\text{V}$, iar rezistenţele au valorile $R_1 = 20\Omega,\ R_2 = 12\Omega$. La scurtcircuitarea nodului de sus al schemei cu polul negativ al bateriilor prin conductorul de scurtcircuitare trece un curent $I = 1,6\text{A}$. Să se determine curenţii în toate ramurile circuitului şi valoarea rezistenţei R_3. (R.:I_1=0,3A,I_2=0,5A,I_3=0,8A;R_3=7,5Ω)

1.70. În schema din fig.1.13 curenţii I_1 şi I_3 sunt îndreptaţi de la dreapta la stânga, curentul I_2 - de sus în jos. Căderea de tensiune pe rezistenţele R_1, R_2 şi R_3 sunt egale cu $U_1 = U_3 = 2\text{V}$, $U_2 = 10\text{V}$. Să se determine tensiunile electromotoare ε_2 şi ε_3, dacă $\varepsilon_1 = 25\text{V}$. ($R.$: $\varepsilon_2 = 30\text{V}$; $\varepsilon_3 = 45\text{V}$)

1.71. În cât timp τ, la electroliza sulfatului de cupru, masa plăcii de cupru (catod) se măreşte cu $m = 99 \cdot 10^{-3}\text{g}$? Suprafaţa plăcii este $S = 25\text{cm}^2$, iar densitatea curentului $j = 200\, A/m^2$. Să se determine grosimea d a stratului de cupru depus pe placă. ($R.$: τ =10min; $d = 4,6 \cdot 10^{-6}\text{m}$)

1.72. La obţinerea aluminiului prin electroliză din soluţie de Al_2O_3 prin creolitul topit trece curentul $I = 20 \cdot 10^3\text{A}$ la o tensiune $U = 5\text{V}$. Determinați în cât timp se va depune masa $m = 1\text{t}$ de aluminiu? Ce cantitate de energie electrică va fi consumată? ($R.$: 149h; $53,7 \cdot 10^9\text{J}$)

1.73. Ce cantitate de energie electrică W trebuie consumată, ca masa la electroliza unei soluţii de $AgNO_3$ (nitrat de argint) să se depună o masă $m = 500\, mg$ de argint? Diferenţa de potenţial la electrozi este $U = 4\text{V}$. ($R.$: $1,8 \cdot 10^3\text{J}$)

1.74. La electroliza sulfatului de cupru timp de 1h, s-a depus masa de $0,5g$ de cupru. Suprafaţa fiecărui electrod fiind de 75cm^2. Determinați densitatea curentului electric. ($R.$: $56\text{A}/\text{m}^2$)

Capitolul 2. FENOMENE ELECTROMAGNETICE

Breviar

Legea lui Biot-Savart-Laplace

$$dH = \frac{Idl\sin\alpha}{4\pi r^2}\,, \tag{2.1}$$

unde : dH este intensitatea câmpului magnetic produs de elementul de linie dl, prin care trece curentul I, într-un punct care se află la distanţa r de la acest element; α este unghiul dinre raza - vectoare $\vec{r}$ şi acest element.

Expresiile de calcul al câmpului magnetic pentru curenţi de diferite configuraţii:

a) intensitatea câmpului magnetic în centrul unui circuit circular de raza R parcurs de curentul I

$$H = \frac{I}{2R}\,, \tag{2.2}$$

b) intensitatea câmpului magnetic la distanţa „a" faţă de un conductor liniar interminabil

$$H = \frac{I}{2\pi a}\,, \tag{2.3}$$

c) intensitatea câmpului magnetic pe axa unui curent circular la distanţa „a" faţă de planul circuitului

$$H = \frac{R^2 I}{2(R^2 + a^2)^{3/2}}\,, \tag{2.4}$$

d) intensitatea câmpului magnetic în interiorul torului şi al solenoidului infinit

$$H = In, \tag{2.5}$$

unde: n este numărul de spire pe unitatea de lungime;

e) intensitatea câmpului magnetic pe axa unui solenoid de lungime finită

$$H = \frac{In}{2}(\cos\beta_1 - \cos\beta_2), \tag{2.6}$$

unde: β_1 şi β_2 sunt unghiurile dintre axa solenoidului şi raza vectoare dusă din punctul considerat spre capetele solenoidului.

Dependența dintre inducţia câmpului magnetic $\vec{B}$ şi intensitatea câmpului $\vec{H}$ este dată de relaţia

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}, \tag{2.7}$$

unde: μ este permeabilitatea magnetică a mediului şi μ_0 constanta magnetică.

În SI constanta magnetică $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,H/m = 12{,}57 \cdot 10^{-7}\,H/m$.

Pentru materialele feromagnetice $\mu = f(H)$ şi $B = f(H)$. La rezolvarea problemelor în care trebuie cunoscută dependența $B = f(H)$ este necesar a utiliza graficul din Fig. A1 din anexă.

Densitatea de volum a energiei câmpului magnetic

$$\omega_0 = \frac{\vec{H}\,\vec{B}}{2}. \tag{2.8}$$

Fluxul inducţiei magnetice prin contur

$$\Phi = BS\cos\alpha, \tag{2.9}$$

unde: S este aria conturului iar α - unghiul dintre normala dusă la planul conturului şi direcţia vectorului $\vec{B}$.

Fluxul magnetic prin tor

$$\Phi = \frac{INS\mu\mu_0}{l}, \tag{2.10}$$

unde: N este numărul total de spire;

l - lungimea torului;

S - aria secţiunii transversale.

Forţa lui Ampere

$$dF = IBdl\sin\alpha, \tag{2.11}$$

unde: α este unghiul dintre direcţia curentului I şi direcţia vectorului inducției magnetice $\vec{B}$.

Momentul magnetic al circuitului parcurs de curent

$$P_m = IS\ , \tag{2.12}$$

unde: S este aria suprafeţei conturului.

Momentul cuplului forţei ce acţionează asupra conturului închis parcurs de curent (sau acului magnetic)

$$M = P_m B \sin\alpha\ , \tag{2.13}$$

unde: α - unghiul dintre direcţia câmpului şi direcţia normalei la planul conturului.

Două fire conductoare infinite, paralele, parcurse de curenţii I_1 și I_2 interacţionează între ele cu forţa

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 \ell}{2\pi d}\ , \tag{2.14}$$

unde: ℓ este lungimea sectorului considerat a firelor, iar d fiind distanţa dintre fire.

Lucrul efectuat la deplasarea conductorului parcurs de curent în câmpul magnetic

$$dL = Id\Phi, \tag{2.15}$$

unde : $d\Phi$ este fluxul magnetic intersectat de conductor la mişcarea sa.

Modulul forţei ce acţionează asupra unei particule încărcate ce se deplasează cu viteza υ într-un câmp magnetic se determină prin formula lui Lorentz

$$F = |q|\upsilon B \sin\alpha\ , \tag{2.16}$$

unde : α este unghiul dintre direcţia vitezei şi direcţia vectorului inducției câmpului magnetic B.

Tensiunea electromotoare de inducţie se determină prin relaţia

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}\ . \tag{2.17}$$

Tensiunea electromotoare de autoinducţie se exprimă prin relaţia

$$\varepsilon_a = -L\frac{dI}{dt}, \tag{2.18}$$

unde: L este inductanţa circuitului.

Inductanţa solenoidului fiind dată de relația

$$L = \mu\mu_0 n^2 lS, \tag{2.19}$$

unde: n - numărul de spire pe unitatea de lungime;
l - lungimea solenoidului;
S - aria secţiunii transversale.

Ca urmare a fenomenului de autoinducţie, intensitatea curentului în circuit, la deconectare scade după legea

$$I = I_0 \exp(-\frac{R}{L}t), \tag{2.20}$$

iar la conectare creşte după legea:

$$I = I_0[1 - \exp(-\frac{R}{L}t)], \tag{2.21}$$

unde: R este rezistenţa circuitului.

Energia câmpului magnetic a unui circuit parcurs de curent este dată de relația

$$W = \frac{1}{2}LI^2. \tag{2.22}$$

Tensiunea electromotoare de inducţie mutuală

$$\varepsilon = -L_{12}\frac{dI}{dt}, \tag{2.23}$$

unde: L_{12} este inductanţa mutuală.

Cantitatea de electricitate ce trece prin secţiunea conductorului la apariţia curentului de inducţie este

$$dq = -\frac{1}{R}d\Phi \tag{2.24}$$

Exemple de rezolvare a problemelor

Problema 1

În conductorul circular cu raza $R = 0{,}1m$ circulă un curent cu intensitatea $I = 1A$. Să se determine inducţia magnetică: **a)** în centrul inelului (fig.2.1); **b)** pe axa verticală la distanţa $h = 0{,}1m$ faţă de centrul inelului (fig.2.2).

Rezolvare:

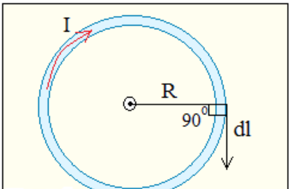


Fig. 2.1

a) se împarte inelul în segmente elementare dl infinit mici. Conform legii lui Biot–Savart–Laplace inducţia magnetică $d\vec{B}$ a câmpului produs în centrul „O” de către segmentul elementar dl este

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\sin\alpha}{R^2}. \quad (1)$$

În problema dată raza vectoare R este perpendiculară pe segmentul dl, ceea ce conduce la

$$dB = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\cdot\left(\frac{Idl}{R^2}\right). \quad (2)$$

Toţi vectorii $\overrightarrow{dB}$ ai câmpului magnetic, creat în punctul „O” de toate segmentele dl ale circuitului circular, sunt orientați perpendicular pe planul desenului. Inducţia rezultantă a câmpului magnetic în punctul „O” este egală cu O'

$$B = \int_0^{2\pi R}\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{R^2}dl = \frac{\mu_0 I}{2R}; \quad (3)$$

b) se determină vectorul inducţiei câmpului magnetic $\vec{dB}$, produs în punctul C de către un segment elementar de linie dl al curentului circular.

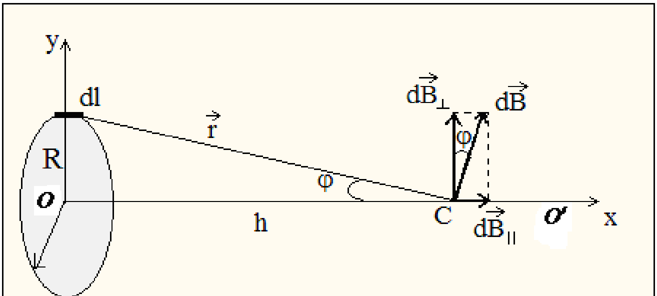


Fig. 2.2

Se descompune acest vector în două componente

$$\vec{dB} = \vec{dB}_{\perp} + \vec{dB}_{\parallel} \tag{4}$$

Şi deci inducţia în orice punct pe axa *x* este

$$\vec{B} = \int \vec{dB}_{\perp} + \int \vec{dB}_{\parallel} \,. \tag{5}$$

Vectorii $\vec{dB}_{\perp}$ proveniţi de la diferite segmente *dl* sunt egali în modul şi, deci, se compensează reciproc. Se determină numai suma valorilor vectorilor îndreptaţi de-a lungul axei OO'.

$$B = \int dB_{\parallel} = \int dB \sin\varphi \tag{6}$$

Din figura 2.2 se observă că

$$\sin\varphi = \frac{R}{r} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + h^2}} \,. \tag{7}$$

Deoarece vectorii $\vec{dl}$ şi $\vec{r}$ sunt reciproc perpendiculari avem $\sin(\vec{dl}, \vec{r}) = 1$. Atunci, conform legii lui Biot–Savart–Laplace, avem

$$dB = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right) \cdot \left(\frac{Idl}{r^2}\right). \qquad (8)$$

Înlocuind (7) şi (8) în (6) rezultă:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IR}{(R^2 + h^2)^{3/2}} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0}{2} \frac{IR^2}{(R^2 + h^2)^{3/2}}. \qquad (9)$$

Notând prin S suprafaţa limitată de inel $S = \pi R^2$, inducţia magnetică într-un punct arbitrar C al axei inelului parcurs de curent va fi egală cu

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I \cdot S}{(R^2 + h^2)^{3/2}}. \qquad (10)$$

Produsul intensităţii curentului I, ce circulă prin inel şi suprafaţa S a acestui inel, se numeşte **moment magnetic** $\vec{P}_m$ al inelului parcurs de curent

$$\vec{P}_m = IS\,\vec{n}_0, \qquad (11)$$

unde $\vec{n}_0$ este vectorul perpendicular pe suprafaţa inelului şi legat cu direcţia curentului prin regula burghiului drept, deci paralel cu vectorul $\vec{B}$. Înlocuind momentul magnetic al inelului parcurs de curent în (10) se poate scrie:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\vec{P}_m}{(R^2 + h^2)^{3/2}}.$$

<u>**Problema 2**</u>

Prin trei conductori paraleli (fig.2.3), rectilinii lungi, amplasaţi într-un plan la distanţe $d = 0{,}2m$ unul de altul, circulă curenţi de aceeaşi intensitate $I = 4A$. În doi conductori direcţia curenţilor coincide. Să se determine forţa ce acţionează pe unitatea de lungime, pentru fiecare conductor.

Rezolvare:

Conform legii lui Ampere, asupra unui segment de conductor dl parcurs de curentul I, în câmp magnetic de inducţie $\vec{B}$, acţionează o forţă $d\vec{F}$

$$d\vec{F} = IBdl\sin(\vec{dl} \wedge \vec{B})$$
(1)

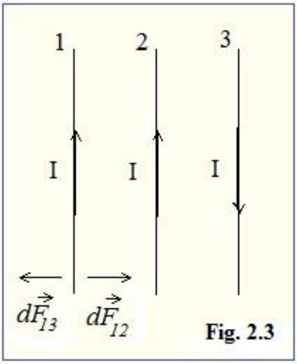


Fig. 2.3

Fiecare dintre cei trei conductori se află în câmpul magnetic produs de către ceilalţi doi conductori. Conform regulii burghiului de drepta, vectorii inducţiei magnetice ai acestor câmpuri sunt orientaţi perpendicular pe planul în care se află aceşti conductori. Rezultă că $\sin(\vec{dl} \wedge \vec{B}) = 1$. Utilizând regula mâinii stângi, rezultă că, pe fiecare segment de lungime dl al primului conductor, aflat în câmpul conductorilor doi şi trei, acţionează forţa $d\vec{F}_{12}$ - îndreptată spre dreapta şi $d\vec{F}_{13}$ îndreptată spre stânga. Considerând direcţia în dreapta ca pozitivă, rezultă, că forţa rezultantă ce acţionează asupra fiecărei unităţi de lungime a conductorului, este egală cu:

$$F_1 = \frac{dF_{21}}{dl} - \frac{dF_{31}}{dl} = I(B_2 - B_3) = \frac{\mu_0 I^2}{4\pi d} = 8 \cdot 10^{-6} N .$$

Calculul efectuat analogic pentru ceilalţi doi conductori, pentru forţele pe o unitate de lungime, conduce la rezultatul:

$$\vec{F}_2 = -\frac{dF_{12}}{dl} - \frac{dF_{32}}{dl} = -I(B_1 + B_3) = -\frac{\mu_0 I^2}{\pi d} = -3{,}2 \cdot 10^{-5} N ,$$

$$\vec{F}_3 = \frac{dF_{13}}{dl} + \frac{dF_{23}}{dl} = I(B_1 + B_2) = 3/4 \cdot \frac{\mu_0 I^2}{\pi d} = 2{,}4 \cdot 10^{-6} N .$$

Problema 3

Într-un plan ce conţine un conductor infinit lung (fig.2.4), prin care circulă un curent $I = 5A$, este amplasat un cadru pătrat cu latura $a = 0,05m$. Două laturi ale cadrului sunt paralele cu conductorul, astfel încât cea mai apropiată latură de conductor se află la distanţa $x_0 = a/2$.

Să se determine fluxul inducţiei magnetice prin cadru. Care va fi fluxul inducţiei, dacă cadrul va fi rotit cu unghiul $\varphi = 60^0$ în jurul axei OO'.

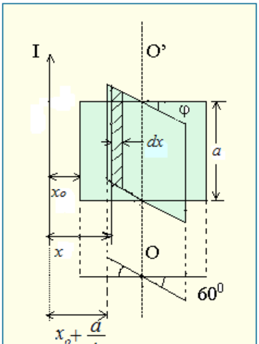


Fig. 2.4

Rezolvare:

Fluxul inducţiei magnetice Φ_B, ce străbate cadrul este egal cu:

$$d\Phi_B = B_n dS \qquad (1)$$

$$\Phi_B = \int \vec{B}_n d\vec{S}$$

Proiecţia vectorului $\vec{B}$ pe direcţia normalei la suprafaţa cadrului pentru un punct x luat arbitrar va fi

$$B_n = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}\cos\alpha\ , \qquad (2)$$

unde α este unghiul dintre normala $\vec{n}$ la cadru şi vectorul $\vec{B}$. În primul caz $\vec{B} \parallel \vec{n}$ şi $\alpha = 0$. Un element de suprafaţă al cadrului poate fi exprimat ca $dS = adx$. Din figura 2.4 se observă că în proiecţie cadrul este cuprins între coordonatele $x_1 = x_0$ şi $x_2 = x_0 + a$. Atunci se poate scrie:

$$\Phi_{B_1} = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\mu_0 Iadx}{2\pi x} = \frac{\mu_0 Ia}{2\pi}\ln\frac{(x_0 + a)}{x_0} = \frac{\mu_0 Ia}{2\pi}\ln 3\,. \qquad (3)$$

În cazul doi $\alpha = \varphi$ proiecţia cadrului este cuprinsă între:

$$x_1 = x_0 + \frac{a}{4} = \frac{3}{4}a \quad \text{şi} \quad x_2 = x_0 + a - \frac{a}{4} = \frac{5}{4}a;$$

$$\Phi_{B_2} = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\mu_0 Ia\cos\varphi dx}{2\pi x} = \frac{\mu_0}{2\pi} Ia\cos\varphi \ln\frac{5}{3}. \qquad (4)$$

Problema 4

În câmpul magnetic omogen de inducţie $B = 0{,}1T$ se roteşte uniform cu frecvenţa $\nu = 10s^{-1}$ un cadru ce conţine 1000 spire. Suprafaţa cadrului este $S = 150cm^2$. Determinați valoarea t.e.m. de inducţie ce corespunde unghiului de rotaţie $\alpha = 30^0$.

Rezolvare:

Valoarea momentană a tensiunii electromotoare de inducţie ε_i se determină conform relaţiei de bază a inducţiei electromagnetice a lui Faraday

$$\varepsilon_i = -\frac{d\psi}{dt}. \qquad (1)$$

Fluxul total al inducţiei poate fi determinat ca $\psi = N\Phi_B$, unde N este numărul de spire. Introducând expresia ψ în (1), rezultă

$$\varepsilon_i = -N\frac{d\Phi_B}{dt}. \qquad (2)$$

La rotaţia cadrului, fluxul magnetic Φ_B, în funcţie de ***t***, se modifică după legea

$$\Phi_B = BS\cos\omega t, \qquad (3)$$

unde: B este inducţia magnetică;
S- suprafaţa cadrului;
ω - frecvenţa circulară.

Înlocuind în (2) expresia (3) şi diferenţiind în raport cu timpul, se obţine valoarea momentană a tensiunii induse

$$\varepsilon_i = \omega NBS \cdot \sin\omega t. \qquad (4)$$

Frecvenţa circulară ω este legată de numărul de rotaţii ν prin expresia $\omega = 2\pi\nu$. Înlocuind expresia lui ω în relaţia (4) rezultă

$$\varepsilon_i = 2\pi\nu NBS \cdot \sin\omega t . \quad (5)$$

Pentru unghiul $\alpha = \omega t$ avem, $\varepsilon_i = 2\pi nNBS \cdot \sin 30^0$.
(6)

Efectuând calculele necesare ebținem $\varepsilon_i = 47{,}1\,V$.

Problema 5

Un electron, parcurgând o diferenţă de potenţial acceleratoare $U = 400V$ ajunge într-un câmp magnetic omogen cu $H = 10^3\,A/m$. Să se determine raza de curbură R a traiectoriei şi frecvenţa de rotaţie a electronului în câmpul magnetic, dacă viteza electronului este perpendiculară pe liniile de forţă.

Rezolvare:

Raza de curbură a traiectoriei electronului se poate determina reieşind din următoarele consideraţii. Asupra electronului în câmpul magnetic acţionează forţa lui Lorentz F_L (forţa de greutate a electronului este neglijată). Forţa lui Lorentz este perpendiculară vectorului vitezei şi ca urmare a legii II a lui Newton este evident că electronul va avea o acceleraţie normală ce rezultă din $F_L = ma_n$.

sau
$$e\upsilon B \cdot \sin\alpha = \frac{m\upsilon^2}{R}, \quad (1)$$

unde: $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}C$ este sarcina electronului;

$m = 9{,}11 \cdot 10^{-31}kg$ - masa electronului;

R - raza de curbură a traiectoriei;

α - unghiul dintre direcţia vectorului vitezei $\vec{\upsilon}$ şi vectorul $\vec{B}$ (în cazul dat $\vec{\upsilon} \perp \vec{B}$, $\sin 90^0 = 1$).

Din relaţia (1) se obţine

$$R = \frac{m\upsilon}{eB}. \quad (2)$$

Energia cinetică al electronului ce străbate diferenţa de potenţial U , poate fi determinată:

$$E_c = \frac{m\upsilon^2}{2} = eU \ .$$

Impulsul $m\vec{\upsilon}$ a electronului din relaţia (2) poate fi exprimat prin energia cinetică E_c a electronului

$$m\upsilon = \sqrt{2mE_c} = \sqrt{2meU} \ . \qquad (3)$$

Deoarece inducţia câmpului magnetic B poate fi exprimată prin intensitatea H a câmpului prin relaţia $B = \mu_0 H$, unde $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\, H/m$.

Înlocuind în (2) şi utilizând expresia impulsului din (3) obţinem

$$R = \frac{\sqrt{2meU}}{e\mu_0 H} \ . \qquad (4)$$

Înlocuind valorile mărimilor în (4) rezultă că valoarea pentru raza de curbură R a traiectoriei electronului este

$$R = 5{,}37 \cdot 10^{-2}\, m = 5{,}37 cm$$

Pentru determinarea frecvenţei circulare se utilizează relaţia de legătură a frecvenţei cu viteza lineară a electronului și raza traiectoriei

$$\nu = \frac{\upsilon}{2\pi R} \ . \qquad (5)$$

Înlocuind în (5) expresia (2) pentru raza de curbură R, rezultă

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \frac{e}{m} B \ , \qquad (6)$$

sau

$$\nu = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{e}{m} H$$

Înlocuind valorile numerice ale mărimilor respective şi efectuând calculele necesare se obţine frecvenţa de rotaţie $\nu = 3{,}51 \cdot 10^7 s^{-1}$.

P R O B L E M E

2.1. Printr-un inel subţire cu raza de 10 cm circulă un curent cu intensitatea de $80A$. Determinaţi inducţia câmpului magnetic *B* pe axa inelului la distanţa $x = 20\,cm$ de la centrul lui. Construiţi graficul dependenţei $B(x)$. $(R.: 45,67\,\mu T)$

2.2. Prin două conductoare rectilinii infinite, paralele, situate în vid, circulă curenţii de $30A$ şi $40A$. Distanţa dintre conductoare este de $20\,cm$. Determinaţi inducţia câmpului magnetic în punctul situat la aceeaşi distanţă de $20\,cm$ de la fiecare conductor. $(R.: 60,83\,\mu T)$

2.3. Printr-un contur sub formă de triunghi echilateral cu latura de $30\,cm$ circulă un curent de $40A$. Determinaţi inducţia câmpului magnetic în punctul de intersecţie a înălţimilor triunghiului. $(R.: 24\cdot 10^{-5}\,T)$

2.4. Printr-un inel subţire conductor circulă un curent. Lăsând curentul constant, inelul a fost transformat în pătrat. De câte ori variază inducţia câmpului magnetic în centrul conturului? $(R.: 1{,}15)$

2.5. Să se determine intensitatea câmpului magnetic pe axa unui conductor circular la distanţa de $3cm$ faţă de planul său. Raza circuitului este de $4cm$, iar intensitatea curentului prin circuit $I = 2A$. $(R: H = 12,7\,A/m)$

2.6. Două conductoare paralele, infinite, parcurse de curenţii $I_1 = 20A$ şi $I_2 = 30A$ ce curg spre observator și de la observator, respectiv, sunt amplasate la distanţa $AB = 10cm$ unul faţă de altul. Să se determine intensitatea câmpului magnetic creat de curenţii I_1 şi I_2 în punctul M_1, situat la distanţa $M_1A = 2cm$, la stânga faţă de conductorul parcurs de curentul I_1 pe dreapta ce uneşte A şi B. $(R.: H_{M1} = 120\,A/m)$

2.7. Să se rezolve problema precedentă, luând în considerație condiția că curenții I_1 și I_2 sunt orientați în aceeași direcție. $(R.: H_{M1} = 199\,A/m)$

2.8. Trei conductoare paralele, infinit de lungi, cu distanţa dintre ele $AB = BC = 5cm$, sunt parcurse de curenţi egali $I_1 = I_2 = I$; $I_3 = 2I$. Să se determine poziţia punctului D pe dreapta AC, în care câmpul rezultant este egal cu zero, dacă curenţii I_1 şi I_2 sunt orientaţi de la observator, iar curentul I_3 spre observator. $(R.: AD = 3,3cm)$

2.9. Un curent $I = 20A$ parcurge un conductor lung, îndoit sub un unghi drept. Să se determine intensitatea câmpului magnetic, într-un punct situat pe bisectoarea acestui unghi, la distanţa de $10cm$ faţă de vârful lui. $(R.: H = 77A/m)$

2.10. Un curent $I = 20A$ parcurge un conductor circular din cupru cu aria secţiunii transversale $S = 1,0mm^2$ şi produce în centrul cercului un câmp de intensitatea $H = 178A/m$. Ce diferenţă de potenţial este aplicată la capetele conductorului circular? $(R.: U = 0,12V)$

2.11. Un cadru pătrat este situat în acelaşi plan cu un conductor rectiliniu infinit astfel, încât două laturi ale pătratului sunt paralele cu conductorul. Prin cadru şi conductor circulă curenţi de aceeaşi intensitate $I = 50A$. Determinaţi forţa ce acţionează asupra cadrului, dacă cea mai apropiată de conductor latură a lui se află la distanţa egală cu lungimea ei. $(R.: 25 \cdot 10^{-5}\, N)$

2.12. Două cadre pătrate cu laturile de $20cm$ sunt parcurse de curenţi cu intensitatea de $10A$ fiecare. Determinaţi forţa de interacţiune a cadrelor situate în plane paralele, dacă distanţa dintre ele este de $2mm$. $(R.: 8\,mN)$

2.13. Două conductoare circulare de rază egală cu $4cm$ fiecare, sunt plasate în planuri paralele la distanţa de $0,1m$ unul faţă de celălalt. Prin conductoare trec curenţii egali $I_1 = I_2 = 2A$. Să se determine intensitatea câmpului într-un punct de pe axa cercurilor, ce sunt formate de către conductoare, şi aflat la distanţă egală faţă de centre, dacă curenţii au acelaşi sens. $(R.: H = 12{,}2 A/m)$

2.14. Să se rezolve problema precedentă, dacă curenţii au sensuri opuse. $(R.: H = 0)$

2.15. Două conductoare circulare sunt amplasate în două planuri reciproc perpendiculare astfel încât centrele lor coincid. Raza fiecărui cerc este de $2cm$ şi curenţii ce parcurg conductoarele sunt $I_1 = I_2 = 5A$. Să se determine intensitatea câmpului magnetic în centrul cercurilor formate de către conductoare. $(R.: H = 177 A/m)$

2.16. Diametrul sârmei, care este înfăşurată pe un solenoid, este $d = 0{,}8mm$. Spirele sunt amplasate una lângă alta. Considerând solenoidul infinit lung, determinați intensitatea câmpului electric din interiorul solenoidului, la un curent ce trece prin el de 1A. $(R.: H = 1250 A/m)$.

2.17. O sarcină electrică de $240\,nC$ este distribuită pe o bară dielectrică subţire cu lungimea de $20cm$. Bara este pusă în mişcare de rotaţie cu viteza unghiulară de $10\,rad/s$ în raport cu axa perpendiculară barei şi care trece prin mijlocul ei. Să se determine: **a)** momentul magnetic P_m cauzat de rotaţia barei încărcate; **b)** raportul momentului magnetic şi a momentului cinetic P_m / L, dacă masa barei este de $12g$. $(R.: 4 \cdot 10^{-9} Am^2; 10\,\mu C/kg)$

2.18. Un inel subţire cu raza de $10cm$ este încărcat uniform cu sarcina de $10\,nC$. Inelul se roteşte cu frecvenţa de $10\,s^{-1}$ în raport cu axa perpendiculară planului inelului şi care trece prin centrul lui. Determinaţi: **a)** momentul magnetic P_m al curentului circular creat de inel; **b)** raportul momentului magnetic şi al momentului cinetic P_m / L, dacă masa inelului este de $10g$. $(R.: a) 3{,}14 \cdot 10^{-9} Am^2;$ $b) 500\,nC/kg)$

2.19. Un electron, accelerat într-un câmp electric de $1000V$, pătrunde într-un câmp magnetic omogen, perpendicular pe direcţia liniilor de forţă. Inducţia câmpului este $B = 1{,}19 \cdot 10^{-3} T$. Să se determine raza de curbură a traiectoriei electronului. $(R.: 9 \cdot 10^{-2} m)$

2.20. În condiţiile problemei precedente, să se determine perioada de rotaţie a electronului pe circumferinţă. $(R.: 30\cdot 10^{-9}s)$

2.21. În condiţiile problemei precedente, să se determine momentul cinetic al electronului. $(R.: 1{,}5\cdot 10^{-24}kgm^2/s)$

2.22. Un electron, accelerat într-un câmp de $300V$, se deplasează paralel cu un conductor lung la distanţa de $4mm$ faţă de acesta. Ce forţă va acţiona asupra lui, dacă prin conductor trece un curent de $5A$? $(R.: 4\cdot 10^{-16}N)$

2.23. Un electron pătrunde într-un câmp omogen de inducţie $B = 10^{-3}T$ cu viteza $\upsilon = 4\cdot 10^7 m/s$, orientată perpendicular pe inducţia B. Să se determine componenta tangenţială şi normală a acceleraţiei electronului în câmp. $(R.: 0;\ 7\cdot 10^{15}m/s^2)$

2.24. Un electron ce posedă energia cinetică de $1{,}53MeV$ se mişcă pe o circumferinţă într-un câmp magnetic omogen cu inducţia de $0{,}02T$. Ţinând seama de dependenţa masei particulei de viteză, determinaţi perioada de rotaţie a electronului. $(R.: 4{,}1\cdot 10^{-10}s)$

2.25. Să se determine energia cinetică a unui proton, care se mişcă pe o circumferinţă de raza $R = 60cm$ într-un câmp magnetic de inducţie $B = 1T$. $(R.: 17{,}3MeV)$

2.26. Un proton şi un electron, mişcându-se cu viteze egale numeric, pătrund într-un câmp magnetic omogen. De câte ori este mai mare raza de curbură R_1 a traiectoriei protonului decât raza de curbură R_2 a traiectoriei electronului? $\left(R.: \dfrac{R_1}{R_2} = \dfrac{m_1}{m_2} = 1840\right)$

2.27. O particulă încărcată se mişcă de-a lungul unei circumferenţe, într-un câmp magnetic cu viteza $\upsilon = 10^6 m/s$. Inducţia câmpului este $B = 0{,}3T$, iar raza traiectoriei $R = 4cm$. Să se determine sarcina particulei, dacă energia ei este de $12keV$. $(R.: 3{,}2\cdot 10^{-19}C)$.

2.28. Un proton şi o particulă α pătrund într-un câmp magnetic în direcţie perpendiculară pe liniile câmpului. De câte ori este mai mare perioada de rotaţie T_1 a protonului, decât perioada de rotaţie T_2 a particulei α? $(R.: 2\ ori)$

2.29. Determinaţi fluxul magnetic Φ ce străbate cadrul dreptunghiular situat în acelaşi plan cu un conductor rectiliniu infinit, prin care circulă un curent de $50\,A$. Cadrul este situat astfel, încât laturile lui mai mari cu lungimea de $65\,cm$ sunt paralele conductorului, iar distanţa de la conductor până la cea mai apropiată latură este egală cu lăţimea cadrului. $(R.: 4,49\cdot 10^{-6}\,Wb)$

2.30. Într-un câmp magnetic omogen de intensitate $7,96\cdot 10^{4}\,A/m$ este plasat un cadru de formă pătrată, astfel încât planul său formează cu liniile câmpului unghiul $\alpha = 45^{\circ}$. Latura pătratului este de $4\,cm$. Să se determine fluxul magnetic prin cadru. $(R.: 1,13\cdot 10^{-4}\,Wb)$

2.31. O bară cu lungimea de $1\,m$ se roteşte în jurul unei axe ce trece printr-un capăt al barei paralel cu liniile de câmp. Să se determine fluxul magnetic intersectat de bară la fiecare rotaţie a ei, dacă inducţia magnetică a câmpului este $0,05\,T$. $(R.: 0,157\,Wb)$

2.32. Un cadru cu aria de $16\,cm^2$ se roteşte într-un câmp magnetic omogen de intensitate $7,96\cdot 10^{4}\,A/m$, efectuând $2\,rot/s$. Axa de rotaţie se află în planul cadrului şi este perpendiculară pe liniile de câmp. Să se determine dependenţa de timp a fluxului magnetic ce intersectează cadrul. $R.: \Phi = 1,6\cdot 10^{-4}\cos(4\pi t + \theta), Wb$, θ - este unghiul dintre normală la cadru şi direcţia câmpului la momentul $t = 0$.

2.33. În condiţiile problemei precedente, să se determine fluxul maximal al inducţiei magnetice. $(R.: 0,16\,mWb)$

2.34. Dintr-un conductor subţire de cupru, cu masa de $1\,g$ este confecţionat un cadru pătrat. Cadrul este situat într-un câmp magnetic omogen cu inducţia de $0,1\,T$ astfel, încât planul lui este perpendicular liniilor de câmp. Determinaţi sarcina care va trece prin conductor, dacă pătratul, fiind tras de vârfurile opuse, va fi întins într-o linie. $(R.: 0,043\,C)$

2.35. La distanţa de $1\,m$ de la un conductor rectiliniu infinit, prin care circulă un curent de $50\,A$, se află un inel cu raza de un $1\,cm$. Inelul este situat astfel, încât fluxul ce îl străbate este maxim.

Determinaţi sarcina ce va trece prin inel, dacă curentul din conductor va dispărea. Rezistenţa inelului este de 10Ω, iar câmpul în limitele inelului se va considera omogen. $(R.: 0,314 \cdot 10^{-9} C)$

2.36. O mostră de fier este introdusă într-un câmp magnetic de intensitatea $796 A/m$. Să se determine permeabilitatea magnetică a fierului în aceste condiţii. $(R.: \mu = 1250)$

2.37. Ce solenaţie este necesară pentru a produce un câmp magnetic cu densitatea volumică a energiei de $1,75 J/m^3$ în interiorul unui solenoid cu lungimea de $30 cm$ şi diametrul relativ mic? $(R.: IN = 500 A \cdot \text{spire})$

2.38. Ce solenaţie este necesară pentru a produce un flux al inducţiei magnetice de $4,2 \cdot 10^{-4} Wb$ într-un solenoid cu miez din fier cu lungimea de $120 cm$ şi aria secţiunii transversale $3 cm^2$? $(R.: IN = 855 A \cdot \text{spire})$

2.39. O bobină înfăşurată pe un cilindru de lemn are *750 spire* şi inductanţa de $25 mH$. Pentru a mări inductanţa bobinei până la $36 mH$, bobina dată a fost înlocuită cu alta, confecţionată dintr-o sârmă mai subţire astfel încât, lungimea bobinei să rămână aceeaşi. Determinaţi numărul de spire ale bobinei noi. $(R.: 1080\, spire)$

2.40. O sursă de curent a fost conectată la o bobină cu rezistenţa de 10Ω şi inductanţa de $1H$. Peste cât timp curentul va atinge *0,9* din valoarea sa maximă? $(R.: 0,23 s)$

2.41. Între polii unui electromagnet se creează un câmp omogen de inducţie $0,1T$. Printr-un conductor de lungimea $70 cm$ plasat perpendicular pe liniile de câmp, trece un curent de $70 A$. Să se determine forţa ce acţionează asupra conductorului. $(R.: 4,9 N)$

2.42. Dintr-un conductor cu lungimea de $20 cm$ se confecţionează un cadru de forma unui pătrat. Să se determine momentul de rotaţie ce acţionează asupra cadrului situat într-un câmp magnetic omogen de inducţie $0,1T$, dacă prin conductor trece un curent de $2 A$, iar planul conturului formează un unghi de 45^0 cu direcţia câmpului. $(R.: 3,53 \cdot 10^{-4} Nm)$

2.43. Să se rezolve problema precedentă în cazul în care cadrul este înlocuit cu o spiră circulară. $(R.: 4,5 \cdot 10^{-4} Nm)$

2.44. Un conductor cu lungimea de $10cm$ se mişcă într-un câmp magnetic omogen de inducţie $0{,}1T$ cu viteza de $15m/s$, orientată perpendicular pe liniile câmpului. Să se determine modulul tensiunii electromotoare induse în conductor. $(R.:0{,}15V)$

2.45. O bobină cu diametrul de $10cm$ avînd *500 spire* se află într-un câmp magnetic. Să se determine valoarea medie a tensiunii electromotoare induse, dacă inducţia magnetică creşte de la *0* pînă la $2T$ în timp de $0{,}1s$. $(R.:78{,}5V)$

2.46. O bară conductoare cu lungimea de $1m$ se roteşte în câmp magnetic cu o viteză unghiulară constantă de $20rad/s$. Axa de rotaţie trece prin capătul barei şi este paralelă cu liniile de inducţie $B=0{,}05T$. Să se determine t.e.m. ce apare la capetele barei. $(R.:0{,}5V)$

2.47. Într-un câmp magnetic omogen de inducţie $0{,}8T$ se roteşte un cadru cu aria de $150cm^2$ şi o viteză unghiulară constantă de $15rad/s$. Axa de rotaţie se află în planul cadrului ce formează un unghi de 30^0 cu liniile câmpului. Determinaţi legea variaţiei t.e.m. de inducţie în funcţie de viteza de rotaţie. $(R.:\varepsilon_i = BS\omega\sin\omega t)$

2.48. În condiţiile problemei precedente, să se determine valoarea maximă a tensiunii electromotoare induse în cadru. $(R.:0{,}09V)$

2.49. O spiră circulară cu aria suprafeţei de $100cm^2$ se află într-un câmp magnetic de inducţie $1T$. Planul spirei este perpendicular pe direcţia câmpului. Care va fi valoarea medie a t.e.m. de inducţie ce apare în circuit la dispariţia câmpului timp de $1ms$? $(R.:1V)$

2.50. Înfăşurarea unei bobine constă din *N spire* de conductor din cupru, aria secţiunii transversale a conductorului este $S=1mm^2$, lungimea solenoidului $l=25cm$ şi rezistenţa $R=0{,}2\Omega$. Să se determine inductanţa solenoidului. $(R.:5{,}5\cdot10^{-5}H)$

2.51. O bobină cu lungimea $l=20cm$ şi diametrul $d=3cm$ are *400 spire*. Prin bobină trece un curent de $2A$. Să se determine inductanţa bobinei. $(R.:0{,}71\cdot10^{-3}H)$

2.52. În condiţiile problemei precedente, să se determine fluxul magnetic ce intersectează aria secţiunii transversale a bobinei. $(R.:3{,}55\cdot10^{-6}Wb)$

2.53. Pe un solenoid cu lungimea $l = 20cm$ şi aria secţiunii transversale de $30cm^2$ sunt înfăşurate *320 spire*, traversate de un curent de $3A$. Ce t.e.m. medie se va induce într-o spiră exterioară îmbrăcată pe solenoid dacă curentul în solenoid se deconectează timp de $0{,}001s$? $(R.: 0{,}018V)$

2.54. O bobină are inductanţa $L = 0{,}2H$ şi rezistenţa $R = 1.64\Omega$. Să se determine de câte ori se va micşora curentul în bobină în $0{,}05s$ după ce t.e.m. se deconectează şi bobina se scurtcircuitează. $(R.: De\ 1{,}5\, ori)$

2.55. O bobină are rezistenţa $R = 10\Omega$ şi inductanţa $L = 0{,}144H$. Peste cât timp de la conectare, prin bobină va curge un curent egal cu jumătate din cel ce se va stabili ulterior în circuit ? $(R.: 0{,}01s)$

INDICAȚII LA REZOLVAREA PROBLEMELOR

Electrostatică și curent continuu

1.7. Asupra bilei acţionează trei forţe: forţa câmpului electric F_1 îndreptată în sus, forţa de greutate G îndreptată în jos şi forţa lui Arhimede F_2 îndreptată în sus. La echilibru:

$$G = F_1 + F_2 \quad (1)$$

unde

$$G = mg = \frac{4}{3}\rho_1\pi \cdot r^2 g \quad (2)$$

iar ρ_1 - densitatea cuprului.

$$F_1 = E \cdot q \quad (3)$$

şi

$$F_2 = \frac{4}{3}\rho_2\pi \cdot r^2 g \quad (4)$$

unde ρ_2 - densitatea uleiului.

Din ecuaţia (1), (2), (3) şi (4) primim:

$$q = \frac{4\pi \cdot r^3 g(\rho_1 - \rho_2)}{3 \cdot E} = 1.1 \cdot 10^{-8} C$$

1.10. Dacă firul are o lungime finită, intensitatea câmpului în punctul ce se află pe perpendiculara dusă din mijlocul firului la distanţa d faţă de el, este egal cu:

$$E = \frac{\sigma \sin}{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 a} \quad (1)$$

Construind figura se stabileşte că:

$$\sin\theta = \frac{\frac{l}{2}}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a\sqrt{a^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}} \quad (2)$$

unde l - lungimea firului, a - distanţa punctului faţă de fir. Înlocuind (2) în (1) rezultă:

$$E = \frac{\tau \cdot l}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a\sqrt{a^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}} \qquad (3)$$

1) Dacă $a \langle\langle l$, atunci $\sqrt{a^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2} \cong \frac{l}{2}$. În acest caz relaţia (3) se reduce la $E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0}$ - intensitatea câmpului unui fir infinit.

2) Dacă $a \rangle\rangle l$, atunci $\sqrt{a^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2} \cong a$ de asemenea, deoarece $l = q$ formula (3) din relaţia $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a^2}$ - intensitatea câmpului sarcinii punctiforme .

1.11. 1) Se împarte inelul încărcat cu sarcină în elemente de lungime dl infinit de mici. Elementul dl al inelului conţine o sarcină dq. Intensitatea câmpului electric în punctul A, creat de acest element, este $dE = \frac{dq}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 x^2}$.
Vectorul dE poate fi descompus în două componente dE_t şi dE_n. Componentele dE_n de la două elemente dl diametral opuse, se anulează şi astfel:
$E = \int dE_t$, însă $dE_t = dE\cos\alpha = dE\frac{L}{x} = \frac{L \cdot q \cdot d}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 x^2}$. Prin urmare obținem că
$E = \frac{L}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 x^3}\int dq = \frac{L \cdot q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 x^3}$. Deoarece $x = \sqrt{R^2 + L^2}$ rezultă

$E = \frac{L \cdot q \cdot d}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 (R^2 + L^2)^{\frac{3}{2}}}$ - intensitatea câmpului electric pe axa inelului.

3) Se exprimă mărimile x şi l prin unghiul α. Având $R = x\sin\alpha$ şi $L = x\cos\alpha$, relaţia (1) devine: $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R^2}\cos\alpha\sin^2\alpha$.

Pentru determinarea valorii maxime a intensităţii E a câmpului se consideră derivata $\frac{dE}{d\alpha}$ şi se egalează cu zero.

$\frac{dE}{d\alpha}=\frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R^2}\left(\cos^2\alpha 2\sin\alpha-\sin^2\alpha\right)=0$ sau $tg^2\alpha=2$. Distanţa L de la punctul A la centrul inelului la care intensitatea câmpului electric este maximă, este egală cu:

$$L=\frac{R}{tg\alpha}=\frac{R}{\sqrt{2}}$$

1.12 a) $E=E_y=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 h\left(h^2+a^2\right)^{\frac{1}{2}}}$; b) $E=E_x=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\left(h^2-a^2\right)^{\frac{1}{2}}}$

1.13 $E=\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 R}$;

1.14. a) $E=\frac{\tau\sqrt{2}}{4\pi\varepsilon_0 R}$; b) $E=0$

1.15. $\varphi=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\sqrt{R^2+x^2}}$

1.19. $q_1=4\pi\varepsilon_0 ra\frac{a\varphi_1-r\varphi_2}{a^2-r^2}; q_2=4\pi\varepsilon_0 ra\frac{a\varphi_2-r\varphi_1}{a^2-r^2}$,

Respectiv : $q_1=7{,}1nC; q_2=-3{,}5nC;$

1.21. $E=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}\cdot\frac{r}{r+2R}$, pentru $r\langle R$ și $E=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, pentru $r\rangle R$.

1.22. Se consideră o sarcină Q uniform distribuită pe sferă; câmpul electric va fi:

$E(r)=\frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{r^2}$ pentru $R_0\langle r\langle R$; $E(r)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{r^2}$ pentru $r\rangle R$.

Potenţialul sferei va fi:

$$\varphi=\int_{R_0}^{\infty}E(r)=\frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\int_{R_0}^{R}\frac{dr}{r^2}+\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\int_{R}^{\infty}\frac{dr}{r^2}=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\left[\frac{1}{\varepsilon}\left(\frac{1}{R_0}-\frac{1}{R}\right)+\frac{1}{R}\right]$$

Capacitatea sferei va fi: $C = \dfrac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R_0 R}{R + (\varepsilon - 1) R_0}$.

1.24. $C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{a - x}$; $F = -\dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{Q^2}{2C}\right) = \dfrac{Q^2}{2\varepsilon_0 S} = k \cdot x$

Rezultă $Q_{\max} = \sqrt{2\varepsilon_0 S \cdot k \cdot a}$

1.25. Se integrează ecuaţia Laplace $V = 0$, ţinând cont de potenţialele celor două plăci.

1.26. $\dfrac{m\vartheta^2}{2} = \dfrac{q \cdot q_0}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}$. Înlocuind valorile numerice se obţine $r = 2cm = 0,06m$.

1.56. La legarea în serie a elementelor $I_1 = 2 \cdot \varepsilon(2r + R)$, la legarea în paralel $I_2 = \dfrac{\varepsilon}{0,5r + R}$. a) $I_1 = 5A$, $I_2 = 5,7A$ b) $I_1 = 0,24A$, $I_2 = 0,124A$.

Astfel, la o rezistenţă mică a circuitului exterior R este mai convenabil a lega elementele în serie.

1.60. Concomitent cu voltmetrul este necesar a lega o rezistenţă $R = 3k\Omega$, atunci constanta voltmetrului se va modifica, devenind $0,5\dfrac{V}{div}$ în loc de $0,2\dfrac{V}{div}$.

1.63. Dependența puterii utile de intensitatea curentul în circuit este dată în figura 1.14.

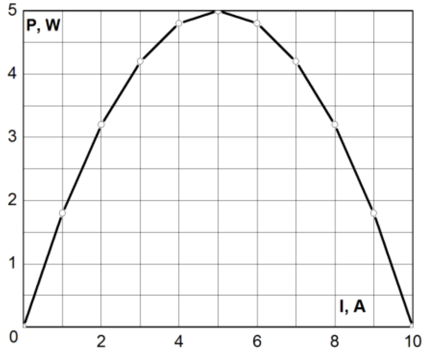


Fig. 1.14

Din punctele de pe grafic se alcătuieşte tabelul:

I, A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P, Wt	0	1,8	3,2	4,2	4,8	5	4,8	4,2	3,2	1,8	0

Puterea degajată în circuitul exterior (puterea utilă) atinge maximul atunci când rezistenţa exterioară R este egală cu rezistenţa internă r a elementului. În acest caz, căderea de tensiune pe circuitul exterior devine $U=\frac{\varepsilon}{2}$. Randamentul elementului devine $\eta=0,5$. În cazul dat $P_{\max}=IU=5Wt$. Rezultă că $U=\frac{P_{\max}}{I}=1V$ şi tensiunea electromotoare $U=2V$, iar rezistenţa internă a elementului va fi $r=\frac{\varepsilon}{2I}=0,5\Omega$. Căderea de tensiune în circuitul exterior $U=\frac{P}{I}$, randamentul elementului $\eta=\frac{U}{\sigma}=\frac{P}{\varepsilon\cdot I}$ Folosind graficul, tabelul şi relaţiile de mai sus se poate construi dependenţa U , P , P_0 faţă de rezistenţa R între două limite $O=R=4\Omega$, peste fiecare $0,5\Omega$.

Fenomene electromagnetice

2.10. Se folosește legea lui Biot-Savart-Laplace

2.19. Câmpul electric cu diferența de potențial U efectuează lucrul ce se consumă pentru mărirea energiei cinetice $\frac{m\vartheta^2}{2}$ a electronului:

$\frac{m\vartheta^2}{2} = eU$, $\vartheta = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$. În câmpul magnetic omogen asupra electronului acționează forța Lorentz:

$$F_L = eB\vartheta,$$

ce rotește electronul pe o circumferință. Aplicând legea II a lui Newton:

$$F_L = \frac{m\vartheta^2}{R} = eB\vartheta. \quad \text{De unde} \quad R = \frac{m\vartheta}{eB}.$$

2.46 La fiecare rotație a barei fluxul magnetic intersectează bara, $\Phi = BS = B\pi \cdot l^2$. Dacă $n-$ frecvența de rotație a barei, atunci:

$\varepsilon = \pi B l^2 n = \frac{B\pi \cdot l^2 \omega}{2\pi} = \frac{B \cdot l^2 \omega}{2}$, unde ω- viteza unghiulară de rotație a barei. Înlocuind valorile numerice, rezultă: $\varepsilon = 0.5V$

ANEXE

Tabelul 1. Constante universale

Constanta gravitaţională	$G = 6,67 \cdot 10^{-11}\ m^3/kg \cdot s^2$
Constanta universală a gazelor	$R = 8,31$ J/mol K
Volumul 1 kmol de gaz ideal în condiţii normale	$V_0 = 22,4 m^3$
Constanta lui Avogadro	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}$
Unitatea atomică de masă	u.a.m. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ kg
Constanta lui Boltzmann	$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K
Viteza luminii în vid	$c = 2,99 \cdot 10^8$ m/s
Masa electronului	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg
Masa protonului	$m_p = 1,672610 \cdot 10^{-27}$ kg
Masa neutronului	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ kg
Constanta electrică	$\varepsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m
Constanta magnetică	$\mu_o = 12,56 \cdot 10^{-7}$ H/m
Sarcina elementară	$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C
Sarcina protonului	$q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}$ C
Sarcina particulei α	$q_\alpha = +3,2 \cdot 10^{-19}$ C
Constanta lui Planck	$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J $\cdot$ s
Constanta lui Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$

Tabelul 2. Densitatea corpurilor solide (kg/m^3)

Aluminiu	2600
Fier	7900
Bronz	8400
Aramă (Cupru)	8600
Cositor	7200
Gheaţă	900

Tabelul 3. Unele mărimi astronomice

Raza medie a Pământului	$6{,}37 \cdot 10^6$ m
Densitatea medie a Pământului	5500 kg/m^3
Masa Pământului	$5{,}96 \cdot 10^{24}$ kg
Raza Soarelui	$6{,}95 \cdot 10^8$ m
Masa Soarelui	$1{,}97 \cdot 10^{30}$ kg
Raza Lunii	$1{,}74 \cdot 10^6$ m
Masa Lunii	$7{,}3 \cdot 10^{22}$ kg
Distanţa medie dintre centrul Lunii şi centrul Pământului	$3{,}84 \cdot 10^8$ m
Distanţa medie dintre centrul Pământului şi centrul Soarelui	$1{,}5 \cdot 10^{11}$ m
Perioada de revoluţie a Lunii în jurul Pământului	27 zile 7ore 43min
Densitatea medie a Soarelui	1400 kg/m^3

Tabelul 4. Proprietățile unor solide

Substanța	**Densitatea kg/m^3**	**Temperatura de topire ^{o}K**	**Căldura specifică J/kg·K**	**Căldura specifică de topire J/kg**	**Coeficientul de dilatare termică ^{o}K^{-1}**
Aluminiu	2600	932	896	$3{,}22 \cdot 10^5$	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$
Fier	7900	1803	500	$2{,}72 \cdot 10^5$	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$
Alamă	8400	1173	386	-	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$
Gheaţă	900	273	2100	$3{,}35 \cdot 10^5$	-
Cupru	8600	1373	395	$1{,}76 \cdot 10^5$	$1{,}6 \cdot 10^{-5}$
Cositor	7200	505	230	$5{,}86 \cdot 10^4$	$2{,}7 \cdot 10^{-5}$
Platină	21400	2043	117	$1{,}13 \cdot 10^5$	$0{,}89 \cdot 10^{-5}$
Plută	200	-	2050	-	-
Plumb	11300	500	126	$2{,}26 \cdot 10^4$	$2{,}9 \cdot 10^{-5}$
Argint	10500	1233	234	$8{,}8 \cdot 10^4$	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$
Oțel	7700	1573	460	-	$1{,}06 \cdot 10^{-5}$
Zinc	7000	693	391	$1{,}77 \cdot 10^5$	$2{,}9 \cdot 10^{-5}$

Tabelul 5. Proprietățile elastice ale unor corpuri solide

Substanţa	Rezistenţa de rupere N/m^2	Modulul lui Young N/m^2
Aluminiu	$1{,}1\cdot10^8$	$6{,}9\cdot10^{10}$
Fier	$2{,}94\cdot10^8$	$19{,}6\cdot10^{10}$
Cupru	$2{,}45\cdot10^8$	$11{,}8\cdot10^{10}$
Plumb	$0{,}2\cdot10^8$	$1{,}57\cdot10^{10}$
Argint	$2{,}9\cdot10^8$	$7{,}4\cdot10^{10}$
Oţel	$7{,}85\cdot10^8$	$21{,}6\cdot10^{10}$

Tabelul 6. Proprietăţile unor lichide

Lichidul	Densitatea kg/m^3	Căldura specifică J/kg·^{o}K	Coeficientul de tensiune superficială N/m
Benzen	880	1720	0,03
Apă	1000	4190	0,073
Glicerină	1200	2430	0,064
Ulei de ricin	900	1800	0,035
Petrol lampant	800	2140	0,03
Mercur	13600	138	0,5
Alcool	790	2510	0,02

Tabelul 7. Diametrele atomilor și moleculelor (m)

Heliu (He)	$2\cdot10^{-10}$
Hidrogen (H_2)	$2{,}3\cdot10^{-10}$
Oxigen (O_2)	$3\cdot10^{-10}$
Azot (N_2)	$3\cdot10^{-10}$

Tabelul 8. Permitivitatea dielectrică

Ceară	7,8
Apă	81
Gaz lampant	2
Ulei	5
Parafină	2
Mică	6
Sticlă	6
Farfor	6
Ebonită	2,6
Hârtie parafinată	2

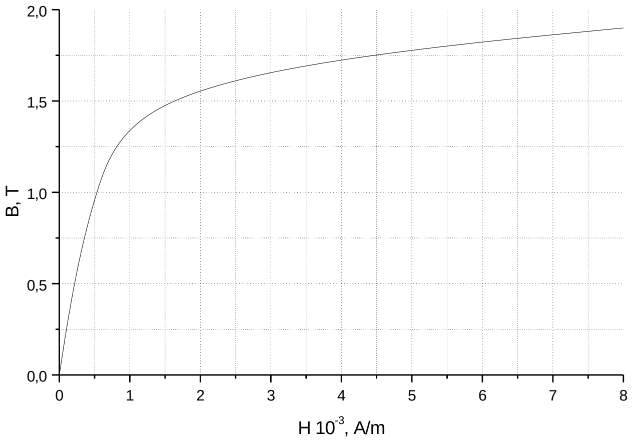
Tabelul 9. Rezistivitatea conductorilor ($\Omega \cdot m$ la 0^0 C)

Aluminiu	$2,53 \cdot 10^{-8}$
Grafit	$3,9 \cdot 10^{-8}$
Fier	$8,7 \cdot 10^{-8}$
Cupru	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Nihrom	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Mercur	$9,4 \cdot 10^{-7}$
Plumb	$2,2 \cdot 10^{-7}$
Oțel	$1,0 \cdot 10^{-7}$

Tabelul 10. Mobilitatea ionilor în electroliți ($m^2/V \cdot s$)

NO_3^-	$6,4 \cdot 10^{-8}$
H^+	$3,26 \cdot 10^{-7}$
K^+	$6,7 \cdot 10^{-8}$
Cl^-	$6,8 \cdot 10^{-8}$
Ag^+	$5,6 \cdot 10^{-8}$

Fig. A1. Dependența inducției *B* de intensitatea *H* a câmpului magnetic pentru fier (anumită probă)



Bibliografie

1. Ţiuleanu D., Marcu C., Stratan I., Taran G., Golban G, Marian S., Balan S. Probleme de fizică. Chişinau, Editura TEHNICA - INFO, 2007, 280 p.
2. Wolkenstein V. S. Problems in General Physics, MIR Publishers, Moscow, 1990, 350 p.
3. Rusu A., Rusu S. Probleme de fizică. Chișinău, Editura UTM, 2004. 88 p.
4. Hristev A., Probleme de termodinamică, fizică moleculară şi caldură, Editura Tehnică, Bucureşti, 1968, 232 p.
5. Взоров Н. Н., Замша О. И., Иродов И. Е., Савельев И. В. Сборник задач по общей физике. Наука, Москва, 1968, 208 с.
6. Савельев И. В. Сборник вопросов и задач по общей физике. Наука, Москва, 1982, 280 с.
7. Popescu I. M., Cone G. F., Stanciu Gh, A. Culegere de probleme de fizică. EDP, Bucureşti, 1982.
8. Чертов А. Г., Воробьёв А. А. Задачник по физике, Высшая щкола, Москва, 1981.
9. Иродов И. Е. Задачи по общей физике, Наука, Москва, 1979.

CUPRINS