

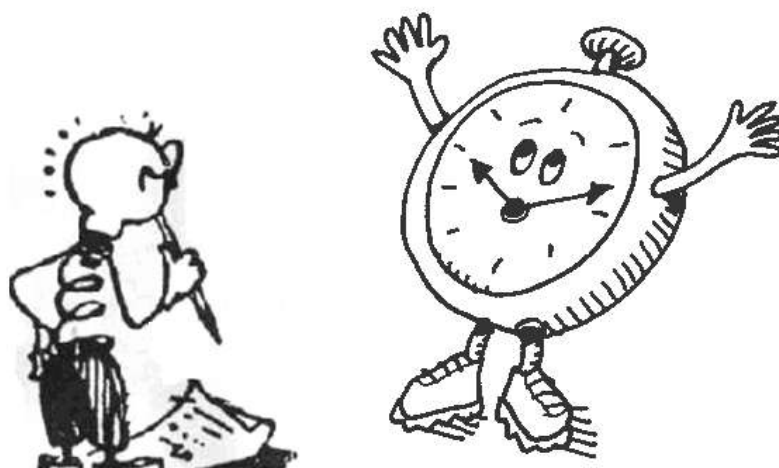
ISSN 1392-2068

LIETUVOS FIZIKŲ DRAUGIJA
ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS

JAUNŲJŲ FIZIKŲ MOKYKLA

„FOTONAS“

IV KURSO UŽDUOTYS IR
METODINIAI NURODYMAI
2009 11 (481)



Šiauliai 2009

**LIETUVOS FIZIKŲ DRAUGIJA
ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
JAUNŲJŲ FIZIKŲ MOKYKLA „FOTONAS“**

Adomas Neimontas, Vacys Jankus

**MECHANIKA. ŠILUMA.
ELEKTRA IR MAGNETIZMAS**

IV KURSO UŽDUOTYS IR METODINIAI NURODYMAI

**Metodinė priemonė
2009–2010 mokslo metai**

Šiauliai 2009

Leidžiama nuo 1972 m.
Leidinių periodiškumas – 15 per metus.

Leidinių parengė:
I turto metodinius nurodymus ir užduotis – Adomas Neimontas,
II turto metodinius nurodymus ir užduotis – Vacys Jankus.

Recenzavo: prof. Stanislovas Jakutis,
fizikos mokytoja metodininkė Lina Senkuvienė.

Šiaulių universiteto Gamtos mokslų fakulteto tarybos rekomenduota spausdinti
2009-09-11 (protokolas Nr. 1).

SU NAUJAISIAIS MOKSLO METAIS, FOTONIEČIAI!

Šie mokslo metai jaunųjų fizikų mokykloje „Fotonas“ Jums paskutiniai. 2010 metų pavasarį gausite „Fotono“ baigimo diplomus.

Norint išvengti netikslumų, ant uždavinių sprendimo sąsiuvinio ir įskaitos lapo didžiosiomis spausdintinėmis raidėmis iš paso užrašykite savo vardą ir pavardę, mokyklą.

Uždavinių sprendimų išsiuntimo terminai:

I turas – 2009-11-05,

II turas – 2010-01-25.

Sąsiuvinius su sprendimais siųskite adresu:

„Fotonui“
Šiaulių universitetas
P. Višinskio g. 19
77156 Šiauliai

I TURAS

MECHANIKA. ŠILUMA

Metodiniai nurodymai

Kinematika

Tolyginio tiesiaieigio judėjimo greitis

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t} \quad (1.1)$$

arba

$$v = \frac{x - x_0}{t};$$

čia v – kūno greitis, s – kūno poslinkis, x – galinė kūno koordinatė, x_0 – pradinė kūno koordinatė, t – laikas, kurį kūnas judėjo.

Greičio matavimo vienetai SI sistemoje: $[v] = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Vidutinį greitį kelio atkarpoje apskaičiuojame atkarpos ilgį s dalydami iš laiko t , sugaišto tai atkarpai įveikti:

$$v_{\text{vid}} = \frac{s}{t}. \quad (1.2)$$

Dydis, apibūdinantis greičio kitimo spartą, vadinamas **pagreičiu**:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}; \quad (1.3)$$

čia \vec{a} – kūno pagreitis, \vec{v}_0 – pradinis kūno greitis, \vec{v} – galinis kūno greitis, t – laikas.

Pagreičio matavimo vienetai SI sistemoje: $[\vec{a}] = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Tolygiai kintamo judėjimo greitis:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \quad (1.4)$$

poslinkis:

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}, \quad (1.5)$$

koordinatė:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}. \quad (1.6)$$

Norėdami rasti poslinkį, kai nežinomas laikas, naudojame formulę:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x};$$

kai $a > 0$, kūno judėjimas greitėjantis, kai $a < 0$, kūno judėjimas lėtėjantis.

Esant **laisvajam kūnų kritimui** arba **vertikaliai aukštyn mesto kūno judėjimui**, greitis lygus:

$$v_y = v_{0y} \pm g_y t, \quad (1.7)$$

aukštis:

$$h_y = v_{oy} t \pm \frac{g_y t^2}{2}, \quad (1.8)$$

koordinatė:

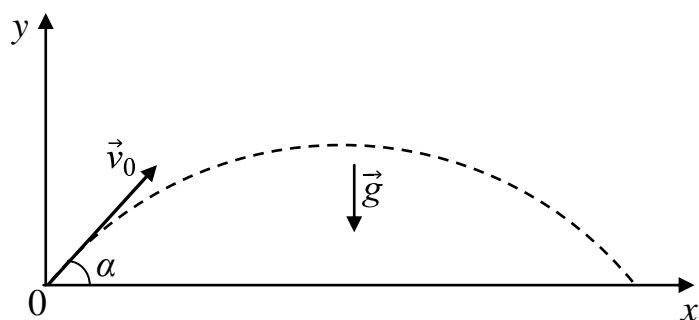
$$y = y_0 + v_{oy} t + \frac{g_y t^2}{2}; \quad (1.9)$$

čia $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ – laisvojo kritimo pagreitis Žemėje, kurio ženklas priklauso nuo pasirinktų koordinatinių ašių krypties.

Aukštis, kai nežinomas laikas:

$$h_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}.$$

Kampu α į horizontą mesto kūno judėjimo (1.1 pav.) lygtys:



1.1 pav.

$$y = v_{oy} t - \frac{g_y t^2}{2}; \quad (1.10)$$

$$x = v_{0x} t.$$

Greičio projekcija į x ašį:

$$v_x = v_0 \cos \alpha.$$

Greičio projekcija į y ašį:

$$v_y = v_0 \sin \alpha.$$

Maksimalus pakilimo laikas:

$$t_h = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Visas kūno skrydžio laikas t_{\max} bus dukart didesnis:

$$t_{\max} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Maksimalus pakilimo aukštis:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

Maksimalus lėkimo nuotolis:

$$s_{\max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Kūno judėjimas apskritimu

Laikas T , per kurį kūnas apsisuka vieną kartą, vadinamas sukimosi **periodu** T :

$$T = \frac{t}{N}, \quad (1.11)$$

čia N – apsisukimų skaičius.

T matavimo vienetas SI sistemoje sekundė (s): $[T] = 1 \text{ s}$.

Dydis, parodantis apsisukimų skaičių per laiko vienetą (per sekundę), vadinamas **dažniu** (f arba ν)

$$f = \frac{N}{t}. \quad (1.12)$$

Ryšys tarp T ir f :

$$T = \frac{1}{f} \text{ ir } f = \frac{1}{T}.$$

Dažnio matavimo vienetas SI sistemoje: $[f] = [\nu] = 1/\text{s} = 1 \text{ Hz}$ (hercas).

Jei žinomas apsisukimų skaičius per minutę, tai

$$f = \frac{N}{60}.$$

Sukamojo judėjimo linijinis greitis

$$\nu = \frac{2\pi R}{T}, \quad (1.13)$$

$$\nu = 2\pi Rf. \quad (1.14)$$

Kai $t = 1 \text{ min}$,

$$\nu = \frac{2\pi RN}{60},$$

čia R – apskritimo spindulys.

Kampinis greitis (ω) – kūno posūkio kampo φ ir laiko t , per kurį įvyko tas posūkis, santykis.

$$\omega = \frac{\varphi}{t}. \quad (1.15)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T};$$

$$\omega = 2\pi f \quad (1.16)$$

Matavimo vienetas SI sistemoje: $[\omega] = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

Ryšys tarp linijinio ir kampinio greičio:

$$\nu = \omega R.$$

Tolygiai apskritimu judančio kūno pagreitis nukreiptas apskritimo spinduliu į jo centrą ir vadinamas įcentrinio pagreičiu a_{ic} . Formulės įcentriniam pagreičiui apskaičiuoti:

$$a_{\text{ic}} = \frac{\nu^2}{R}; \quad (1.17)$$

$$a_{ic} = \frac{4\pi^2 R}{T^2};$$

$$a_{ic} = \omega^2 R.$$

Dinamika

Vieno kūno poveikis kitam arba kūno pagreičio atsiradimo priežastis yra jėga F .

Pirmasis Niutono (inercijos) dėsnis: kai kūną veikiančių jėgų atstojamoji lygi nuliui, kūnas nejuda arba juda tiesiai ir tolygiai.

$$\text{Kai } \vec{F}_{ats} = 0,$$

tai

$$\vec{v} = \text{const}, \vec{a} = 0.$$

Antrasis Niutono dėsnis: kūno įgytas pagreitis yra tiesiogiai proporcingas veikiančiai jėgai ir atvirkščiai proporcingas kūno masei. Iš to gauname matematinę jėgos (arba jėgų atstojamosios) išraišką:

$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad (1.18)$$

Jėgos matavimo vienetas – niutonas (N).

$$[F] = 1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}.$$

Trečiasis Niutono dėsnis: du kūnai veikia vienas kitą vienodo modulio, bet priešingų kryptių jėgomis (veiksmas lygus atoveikiui).

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2. \quad (1.19)$$

Dviejų sąveikaujančių kūnų pagreičių modulių santykis lygus atvirkštiniam jų masių santykiui.

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Kūno masė – kūno inertiškumą išreiškiantis dydis, matuojama kilogramais.

$$[m] = 1 \text{ kg}.$$

Huko dėsnis teigia, kad deformuoto kūno tamprumo jėga tiesiogiai proporcinga kūno pailgėjimui x (arba sutrumpėjimui) ir yra priešinga to kūno dalelių poslinkiui.

$$F_{\text{tampr}} = -kx; \quad (1.20)$$

čia k – kūno standumo (tamprumo) koeficientas, kuris matuojamas: $[k] = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}}$.

Visuotinės traukos dėsnis: visi kūnai veikia (traukia) vienas kitą jėga, kurios modulis tiesiogiai proporcingas jų masių sandaugai ir atvirkščiai proporcingas atstumo r tarp jų masių centrų kvadratui.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}; \quad (1.21)$$

čia $G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$ – gravitacijos konstanta, jos vienetas $[G] = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$.

Jėga, kuria Žemė traukia kūną bet kurioje vietoje, vadinama **sunkių** F_s , arba **sunkio jėga**:

$$\vec{F}_s = m\vec{g}, \quad (1.22)$$

$$g = G \frac{M}{(R+h)^2}; \quad (1.23)$$

čia g – laisvojo kritimo pagreitis, M – Žemės masė, R – Žemės spindulys, h – aukštis virš Žemės paviršiaus.

Jėga, kuria Žemės traukiamas kūnas veikia atramą arba pakabą, vadinama **kūno svoriu P** .

Kai kūnas juda tolygiai arba yra rimtyje:

$$\vec{P} = m\vec{g}.$$

Kai kūno pagreitis \vec{a} yra tos pačios krypties, kaip ir \vec{g} :

$$\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a}).$$

Kai kūno pagreitis \vec{a} yra priešingos krypties \vec{g} :

$$\vec{P} = m(\vec{g} + \vec{a}).$$

Pirmojo kosminio greičio formulės:

aukštyje h :

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R+h}}. \quad (1.24)$$

Netoli Žemės paviršiaus:

$$v = \sqrt{gR}.$$

Jėga, kuri atsiranda kūnų sąlyčio vietoje ir trukdo vienam iš jų pajudėti (rimties) arba judėti kito kūno paviršiumi (slydimo), vadinama **trinties jėga F_{tr}** .

$$F_{tr} = \mu N, \quad (1.25)$$

čia μ – trinties koeficientas, N – atramos reakcijos jėga.

Jėga, suteikianti kūnui įcentrinį pagreitį, vadinama **įcentrine jėga**.

$$F_{ic} = \frac{mv^2}{R}; \quad (1.26)$$

čia m – kūno masė, v – linijinis greitis, R – apskritimo spindulys.

Skystyje (dujose) panardintą kūną veikianti aukštyn nukreipta jėga, lygi kūno išstumto skysčio (dujų) svoriui, vadinama **Archimedo jėga (F_A)**.

$$F_A = \rho_s Vg; \quad (1.27)$$

čia F_A – Archimedo jėga, ρ_s – skysčio tankis, V – skystyje panirusios kūno dalies tūris (išstumto skysčio tūris), g – laisvojo kritimo pagreitis.

Kūno pusiausvyros sąlyga: visų kūną veikiančių jėgų atstojamoji lygi nuliui.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n = 0. \quad (1.28)$$

Jėgos momentas M yra lygus jėgos modulio F ir peties d sandaugai.

$$M = Fd. \quad (1.29)$$

Matavimo vienetas: $[M] = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ Nm}$.

Jėgos petys d – trumpiausias atstumas nuo kūno sukimosi ašies iki jėgos veikimo linijos.

Besisukančio kūno pusiausvyros sąlyga: kad besisukantis kūnas būtų pusiausvyroje, jį veikiančių jėgų momentų suma turi būti lygi 0.

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n = 0. \quad (1.30)$$

$$F_1 d_1 + F_2 d_2 + \dots + F_n d_n = 0.$$

Momentai, veikiantys pagal laikrodžio rodyklę, – teigiami, o prieš laikrodžio rodyklę – neigiami (galima ir atvirkščia tvarka).

Kūno masės m ir greičio \vec{v} sandauga vadinama **kūno impulsu** arba **judesio kiekiu** \vec{p} .

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (1.31)$$

Kūno impulso vienetas: $[p] = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$.

Jėgos F ir laiko t sandauga vadinama **jėgos impulsu**, kuris lygus kūno impulso pokyčiui:

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0. \quad (1.32)$$

Kūnų impulsų tvermės dėsnis: uždaro sistemos kūnų impulsų vektorinė (geometrinė) suma bet kokios sąveikos metu lieka pastovi:

$$m_1\vec{v}_{01} + m_2\vec{v}_{02} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2. \quad (1.33)$$

Mechaninis darbas A yra lygus jėgos F , nueito kelio (poslinkio) s ir kampo α tarp jėgos ir poslinkio krypties kosinuso sandaugai:

$$A = Fs \cos \alpha, \quad (1.34)$$

čia α – kampas tarp jėgos ir poslinkio krypties.

Darbas SI sistemoje matuojamas džauliais J:

$$[A] = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}.$$

Energija yra fizikinis dydis, kuris apibūdina kūno ar kūnų sistemos gebėjimą atlikti darbą pereinant iš vienos būsenos į kitą.

Kūno judėjimo energija vadinama **kinetine** E_k :

$$E_k = \frac{mv^2}{2}; \quad (1.35)$$

čia m – kūno masė, v – jo greitis.

Kinetinės energijos teorema: kūną veikiančios jėgos (jėgų atstojamosios) darbas lygus kūno kinetinės energijos pokyčiui:

$$\begin{aligned} A &= E_k - E_{k0} = -\Delta E_k, \\ A &= \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}. \end{aligned} \quad (1.36)$$

Sąveikaujančių kūnų energija vadinama **potencine energija** E_p .

Sunkio jėgos veikiamo kūno potencinė energija E_p :

$$E_p = mgh, \quad (1.37)$$

čia m – kūno masė, g – laisvojo kritimo pagreitis, h – pakelto kūno aukštis virš laisvai pasirinkto nulinio potencinės energijos lygmens.

Potencinės energijos teorema: sunkio jėgos atliekamas darbas lygus neigiamam potencinės energijos pokyčiui:

$$\begin{aligned} A &= -(E_{p2} - E_{p1}) = -\Delta E_p, \\ A &= mgh_1 - mgh_2 = -(mgh_2 - mgh_1). \end{aligned} \quad (1.38)$$

Tampriai deformuoto kūno potencinė energija E_p :

$$E_p = \frac{kx^2}{2}, \quad (1.39)$$

čia k – deformuojamo kūno standumo (tamprumo) koeficientas, x – kūno pailgėjimas (sutrumpėjimas).

Tamprumo jėgos darbas:

$$A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2} = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right). \quad (1.40)$$

Energijos matavimo vienetas – džaulis (J):

$$[E_k] = [E_p] = 1 \text{ J}.$$

Energijos tvermės dėsnis mechanikoje: uždaroje kūnų sistemoje pilnutinė mechaninė energija nekinta:

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}; \quad (1.41)$$

čia E_{k1} – pradinė kinetinė energija, E_{p1} – pradinė potencinė energija, E_{p2} – galutinė potencinė energija, E_{k2} – galutinė kinetinė energija.

Mechaninė galia N lygi atlikto darbo A ir sugaišto laiko t santykiui:

$$N = \frac{A}{t}. \quad (1.42)$$

Galios vienetas yra vatas (W): $N = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ W}.$

Kūnui judant tolygiai galią galima apskaičiuoti ir pagal formulę

$$N = Fv;$$

čia F – mašinos variklio traukos jėga, v – mašinos greitis.

Naudingumo koeficientu η (eta) vadinamas mašinos ar mechanizmo naudingo darbo A_n ir viso atlikto darbo A_v santykis (dažniausiai išreiškiamas procentais).

$$\eta = \frac{A_n}{A_v} \cdot 100\%. \quad (1.43)$$

Šiluma

Molekulinėje fizikoje medžiagos kiekis v išreiškiamas:

$$v = \frac{m}{M}; \quad (1.44)$$

$$v = \frac{V}{V_0}; \quad (1.45)$$

čia m – medžiagos masė, M – molio masė, V – medžiagos tūris, V_0 – molio tūris. $V_0 = 22,4 \text{ l}$ – dujų 1 molio tūris normaliomis sąlygomis.

Molekulių skaičius bet kurios medžiagos viename molyje yra pastovus dydis ir vadinamas Avogadro skaičiumi $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Molekulių skaičių N galime rasti tokiu būdu:

$$N = vN_A = \frac{m}{M} \cdot N_A = \frac{V}{V_0} \cdot N_A. \quad (1.46)$$

Molio masės M ir santykinės molekulinės masės M_r sąryšis:

$$M \approx 10^{-3} M_r \frac{\text{kg}}{\text{mol}}.$$

Oro molio masė:

$$M = 0,029 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}.$$

Molekulių vidutinis greitis:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}; \quad (1.47)$$

čia $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ – Bolcmano konstanta, $R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ – universalioji dujų konstanta, m_0 – molekulės masė.

Pagrindinė dujų molekulių kinetinės teorijos lygtis

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2 = \frac{2}{3} n \bar{E}; \quad (1.48)$$

čia p – dujų slėgis, $n = \frac{N}{V}$ – molekulių koncentracija, t. y. molekulių skaičius tūrio vienetė, m_0 – molekulės masė, \bar{v}^2 – greičio kvadrato vidutinė vertė, \bar{E} – dujų molekulės vidutinė kinetinė energija:

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT. \quad (1.49)$$

Dujų slėgio priklausomybę nuo jų molekulių koncentracijos ir temperatūros apibūdina lygtis

$$p = nkT. \quad (1.50)$$

Absoliutinės ir Celsijaus skalės ryšys:

$$T = t + 273^\circ \text{C}.$$

Idealiųjų dujų būsenos (Mendelejevo ir Klapeirono) lygtis:

$$pV = \frac{m}{M} RT; \quad (1.51)$$

čia p – slėgis, V – tūris, T – absoliutinė temperatūra, m – dujų masė, M – dujų molio masė, $R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ – universalioji dujų konstanta.

Dujų būsenos kitimą pastovioje temperatūroje nusako Boilio ir Marioto dėsnis:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}, \quad (1.52)$$

$T = \text{const}$ ir masė m nekinta.

Procesas, kai $T = \text{const}$, vadinamas ***izoterminiu***.

Dujų būsenos kitimą, kai pastovus slėgis, nusako Gei-Liusako dėsnis:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (1.53)$$

$p = \text{const}$ ir masė m nekinta.

Procesas, kai $p = \text{const}$, vadinamas ***izobariniu***.

Dujų būsenos kitimą, kai pastovus tūris, nusako Šarlio dėsnis:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (1.54)$$

$V = \text{const}$ ir masė m nekinta.

Procesas, kai $V = \text{const}$, vadinamas *izochoriniu*.

Klapeirono lygtis:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \quad (1.55)$$

masė m nekinta.

Dujų mišinio slėgis randamas pagal **Daltono dėsnį**:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n; \quad (1.56)$$

čia p_1, p_2, \dots, p_n – daliniai atskirų dujų mišinio dedamųjų slėgiai.

Idealiųjų vienuatominių dujų vidinė energija apskaičiuojama pagal formulę:

$$U = \frac{3m}{2M} RT. \quad (1.57)$$

Vidinę kūnų energiją galima pakeisti dviem iš esmės skirtingais būdais: atliekant mechaninį darbą ir šilumos apykaitos (perdavimo) būdu.

I termodinamikos dėsnis:

$$\Delta U = A' + Q \text{ arba } Q = \Delta U + A; \quad (1.58)$$

čia A' – išorinių jėgų darbas, A – sistemos atliktas darbas, ΔU – vidinės energijos pokytis, Q – sistemai suteiktas šilumos kiekis.

Įvairiems idealiųjų dujų procesams I termodinamikos dėsnis užrašomas šitaip:

Izoterminis: $\Delta U = 0, Q = A, \quad (1.59)$

Izobarinis: $Q = \Delta U + A, \quad (1.60)$

Izochorinis: $A=0, Q = \Delta U, \quad (1.61)$

Adiabatinis: $Q = 0, A = -\Delta U$ (sistema atlieka darbą),
 $A = \Delta U$ (išorinės jėgos atlieka darbą). (1.62)

Darbas termodinamikoje apskaičiuojamas pagal formulę:

$$A = p\Delta V; \quad (1.63)$$

čia p – dujų slėgis, ΔV – tūrio pokytis.

Jei sistema neatlieka darbo, tai jai suteiktas šilumos kiekis sunaudojamas jos vidinei energijai pakeisti:

$$Q = cm(t_2 - t_1) = \Delta U; \quad (1.64)$$

čia c – savitoji šiluma, m – kūno masė, t_2 ir t_1 – galinė ir pradinė temperatūros.

$$\Delta U = C\Delta t. \quad (1.65)$$

Kūno šiluminė talpa C – jo masės ir savitosios šilumos sandauga:

$$C = cm.$$

Norint m masės skystį išgarinti, reikia šilumos kiekio:

$$Q = rm; \quad (1.66)$$

čia r – savitoji garavimo šiluma.

Norint išlydyti m masės kristalinį kūną jo lydymosi temperatūroje, reikia šilumos kiekio:

$$Q = \lambda m; \quad (1.67)$$

čia λ – savitoji lydymosi šiluma.

Sudegant m masės kurui išsiskiria šilumos kiekis:

$$Q = qm; \quad (1.68)$$

čia q – savitoji kuro degimo šiluma.

Šilumos balanso lygtis: visas vienu kūnų atiduotas šilumos kiekis yra lygus visam kitų kūnų gautam šilumos kiekiui:

$$\sum Q_{\text{atid}} = \sum Q_{\text{gaut}} \quad (1.69)$$

arba

$$Q_1 + Q_2 + \dots = Q'_1 + Q'_2 + \dots \quad (1.70)$$

Realaus šiluminio variklio naudingumo koeficientas:

$$\eta = \frac{Q_n}{Q_v} \cdot 100\%, \quad (1.71)$$

$$Q_n = Q_1 - Q_2 = A,$$

$$Q_v = Q_1;$$

čia Q_n – naudingas šilumos kiekis, Q_1 – iš šildytuvo gautas šilumos kiekis, Q_2 – aušintuvui atiduotas šilumos kiekis, Q_v – visas šilumos kiekis, kuris išsiskiria degant kurui.

Idealaus šiluminio variklio naudingumo koeficientas:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%; \quad (1.72)$$

čia T_1 – šildytuvo temperatūra, T_2 – aušintuvo temperatūra.

Santykinė oro drėgmė (drėgnis):

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% \quad \text{arba} \quad \varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%; \quad (1.73)$$

čia p – ore esančių vandens garų dalinis slėgis, p_0 – oro temperatūros sočiųjų vandens garų slėgis, ρ – ore esančių vandens garų tankis, ρ_0 – oro temperatūros sočiųjų vandens garų tankis.

Kūnams mažai deformuojantis **įtempimas** yra tiesiog proporcingas santykiniam pailgėjimui:

$$\sigma = E|\varepsilon|; \quad (1.74)$$

čia σ – įtempimas, E – tamprumo (Jungo) modulis,

santykinis pailgėjimas – $\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$,

absoliutinis pailgėjimas – $\Delta \ell = \ell - \ell_0$.

$$\sigma = \frac{F}{S}; \quad (1.75)$$

čia F – jėga, S – deformuojamo kūno skerspjūvio plotas.

Tamprumo jėga F proporcinga absoliutiniam pailgėjimui:

$$F = \frac{SE}{\ell_0} \Delta \ell; \quad k = \frac{SE}{\ell_0}; \quad (1.76)$$

čia S – skerspjūvio plotas, E – tamprumo modulis, ℓ_0 – pradinis ilgis, $\Delta \ell$ – absoliutinis pailgėjimas.

Skysčio pakilimo aukštis h kapiliare yra tiesiog proporcingas paviršiaus įtempimo koeficientui σ ir atvirkščiai proporcingas kapiliaro spinduliui r bei skysčio tankiui ρ :

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}. \quad (1.77)$$

*** Tad sėkmės, gerb. Abituriente, linkime puikiai baigti „Fotono“ mokyklą! Niekad nepamirški draugų, su kuriais susipažinai „Fotono“ dėka. Geras draugas – neįkainojama vertybė:

„Juk brolis gali ir draugu netapti, –
Bet tikras draugas – brolių tau atstos...“

(A. Neimontas, Motinos monologas, 2004)

Uždavinių sprendimų pavyzdžiai

1 pavyzdys

Minijos upės tėkmės greitis 2 m/s, o valtės greitis stovinčiame vandenyje – 3 m/s. Būtinai reikia nuplaukti 100 m pasroviui ir grįžti (liko neužgesintas laužas, o juk vasaros vidurys). Kiek laiko užtruks kelionė kiekviena kryptimi ir koks bus vidutinis valtės greitis?

t_1	$v_u = 2 \text{ m/s}$
t_2	$v_v = 3 \text{ m/s}$
v_{vid}	$l = 100 \text{ m}$

Valtės greitis pasroviui kranto atžvilgiu:

$$v_{vp} = v_v + v_u = 5 \text{ m/s}.$$

Laikas plaukiant pasroviui:

$$t_1 = \frac{\ell}{v_{vp}};$$

$$t_1 = 20 \text{ s}.$$

Valtės greitis prieš srovę kranto atžvilgiu:

$$v_{vs} = v_v - v_u;$$

$$v_{vs} = 1 \text{ m/s}.$$

Laikas plaukiant prieš srovę:

$$t_1 = \frac{\ell}{v_{vs}};$$

$$t_2 = 100 \text{ s}.$$

Vidutinis greitis kelionėje:

$$v_{\text{vid}} = \frac{2\ell}{t_1 + t_2};$$

$$v_{\text{vid}} = 1,67 \text{ m/s}.$$

Atsakymas: $t_1 = 20 \text{ s}$; $t_2 = 100 \text{ s}$; $v_{\text{vid}} = 1,67 \text{ m/s}$.

2 pavyzdys

Sunkvežimis, kurio masė 4 t, pajuda iš vietos 2 m/s^2 pagreičiu. Kokių pagreičių jis gali pajudėti veikiant tokiai pat jėgai, jei vilks 2 t masės priekabą?

a_2	$m_s = 4 \text{ t} = 4 \cdot 10^3 \text{ kg}$ $m_p = 2 \text{ t} = 2 \cdot 10^3 \text{ kg}$ $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$
-------	---

Sunkvežimį veikiančių jėgų atstojamoji F_{ats} jam suteikia pagreitį a_1 :

$$F_{\text{ats}} = m_s a_1;$$

$$F_{\text{ats}} = 8 \cdot 10^3 \text{ N}.$$

Prikabinus priekabą, bendra masė padidėja:

$$m_b = m_s + m_p;$$

$$m_b = 6 \cdot 10^3 \text{ kg}.$$

Iš II Niutono dėsnio galima rasti ieškomą pagreitį:

$$a_2 = \frac{F_{\text{ats}}}{m_b};$$

$$a_2 = 1,33 \text{ m/s}^2.$$

Pastaba: šiame uždavinyje laikoma, kad sunkvežimio jėga lieka nepakitusi ir ji lygi F_{ats} , nes kitos nekompensuotos jėgos, pirmiausia pasipriešinimo jėga, daug mažesnės.

Atsakymas: $a_2 = 1,33 \text{ m/s}^2$.

3 pavyzdys

Norint nustatyti kulkos greitį, ji šaunama į ant virvės pakabintą trinką(kaladę). Tegu kulkos masė 10 g, trinkos – 10 kg. Nuo smūgio trinka pajudėjo ir pakilo į 5 cm aukštį. Kokių greičiu lėkė kulka?

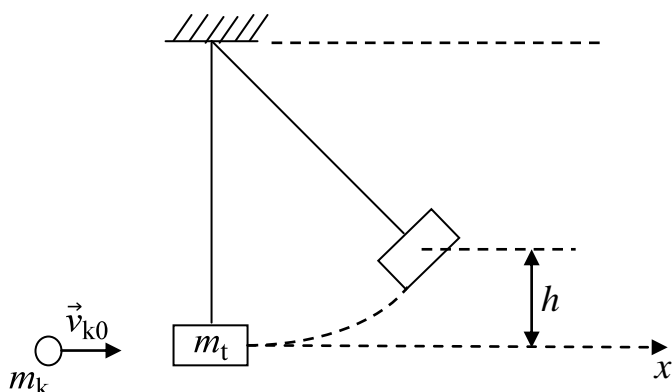
v_{k0}	$m_k = 10 \text{ g} = 0,01 \text{ kg}$ $m_t = 10 \text{ kg}$ $h = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$ $g = 10 \text{ m/s}^2$
----------	--

Smūgiui taikysime judesio kiekio tvermės dėsnį. Po smūgio trinkos (kaladės) ir kulkos greičiai vienodi $v_k = v_t$, o prieš smūgį trinka nejudėjo, $v_{t0} = 0$. Tad:

$$m_k \vec{v}_k + m_t \vec{v}_t = m_k \vec{v}_{k0} + m_t \vec{v}_{t0}.$$

Projekcine (skaliarine) forma:

$$(m_k + m_t) v_t = m_k v_{k0},$$



1.2 pav.

$$v_{k0} = \frac{(m_k + m_t)v_t}{m_k}. \quad (1)$$

Nežinome trinkos greičio v_t . Jį rasime iš trinkos atsilenkimo, pagal energijos tvermės dėsnį.

Kadangi kulkos masė daug mažesnė už trinkos masę, tai laikysime, jog $m_t + m_k \approx m_t$:

$$\begin{aligned} E_{k0} + E_{p0} &= E_k + E_p, \\ E_{k0} &= E_p, \\ \frac{m_t v_t^2}{2} &= m_t g h, \\ v_t &= \sqrt{2gh}. \end{aligned} \quad (2)$$

(2) lygtį įrašome į (1):

$$\begin{aligned} v_{k0} &= \frac{m_t \cdot \sqrt{2gh}}{m_k}; \\ v_{k0} &= 1000 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \end{aligned}$$

Atsakymas: $v_{k0} = 1000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

4. Kokį darbą atliko 580 g oro, izobariškai pakaitinto 30 °C, ir kiek šilumos jam buvo suteikta? Kiek padidėjo jo vidinė energija? Oro savitoji šiluma, esant pastoviam tūriui $c_p = 1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

A	$m = 580 \text{ g} = 0,58 \text{ kg}$
Q	$\Delta t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$
ΔU	$\Delta T = 30 \text{ K}$
	$p = \text{const}$
	$c_p = 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$A = p\Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T;$$

čia

$$M = 0,029 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} - \text{oro molio masė,}$$

$$A = 5000 \text{ J.}$$

$$Q = c_p m \Delta T;$$

$$Q = 17,4 \cdot 10^3 \text{ J.}$$

Pagal I termodinamikos dėsnį:

$$\Delta U = A + Q;$$

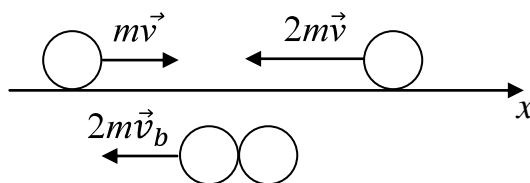
$$\Delta U = 12,4 \cdot 10^3 \text{ J.}$$

Atsakymas: $A = 5 \text{ kJ}$; $Q = 17,4 \text{ kJ}$; $\Delta U = 12,4 \text{ kJ}$.

5 pavyzdys

Du vienodos masės švininiai rutuliai juda vienas priešais kitą greičiu v ir $2v$. Kiek pakito jų temperatūra po netampraus smūgio? Švino savitoji šiluma $c = 130 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$.

Δt	$m_1 = m_2 = m$
	v
	$2v$
	$c = 130 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$



1.3 pav.

Po smūgio rutuliai sulips ir judės kartu, vienodu greičiu v_b . Jį rasime iš judesio kiekio tvermės dėsnio:

$$mv - 2mv = -2mv_b,$$

$$v_b = \frac{2mv - mv}{2m} = \frac{v}{2}.$$
(1)

Bendra pradinė kinetinė energija:

$$E_{k0} = \frac{mv^2}{2} + \frac{m(2v)^2}{2},$$

$$E_{k0} = \frac{5mv^2}{2}.$$
(2)

Po sulipimo bendra kinetinė energija:

$$E_k = \frac{2m(0,5v)^2}{2} = \frac{mv^2}{4}.$$
(3)

Energijų skirtumas:

$$\Delta E = E_{k0} - E_k = \frac{9}{4}mv^2.$$

Šis skirtumas virsta šiluma:

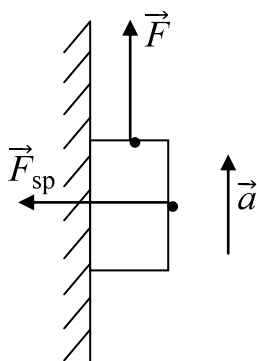
$$\Delta E = c \cdot 2m \Delta t,$$

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{c \cdot 2m} = \frac{9v^2}{8c}.$$

Atsakymas: $\Delta t = \frac{9v^2}{8c}.$

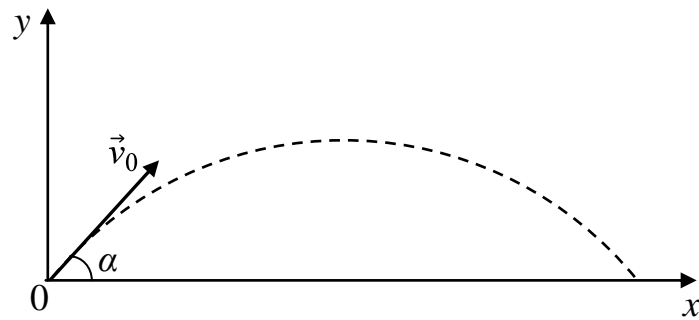
I TURO UŽDUOTYS

1. Apskaičiuokite laikrodžio minutinės rodyklės galo nueitą kelią ℓ ir poslinkį s per laiką $t = 15$ min, jei rodyklės ilgis $L = 2$ cm.
2. Stebėjimo pradžioje raketa buvo taške, kurio koordinatės $x_0 = 500$ m, $y_0 = 0$, ir judėjo tiesiai ir tolygiai greičiu $v = 0,8$ km/s kampu $\alpha = 60^\circ$ į horizontą. Užrašykite raketos koordinatų lygtis $x = x(t)$ ir $y = y(t)$ bei trajektorijos lygtį $y = y(x)$. Raketa iš pradžių juda stačiai aukštyn, o paskui, pašalinus dalį krovinio, keičia judėjimo kampą.
3. Kūnas, judėdamas tiesiaiegiai tolygiai greitėjančiai, per laiką t nuėjo kelią s ir padidino savo greitį n kartų. Raskite judėjimo pagreitį a ir kūno pradinį greitį v_0 .
4. Trečdalį viso kelio sunkvežimis nuvažiavo greičiu v_1 , o likusią kelio dalį – greičiu v_2 . Koks automobilio vidutinis greitis visame kelyje?
5. Strėlė, suteikus jai tam tikrą pradinį greitį, nukreiptą vertikaliai aukštyn, pakilo į aukštį H (oro pasipriešinimo nepaisome). Kam bus lygus strėlės horizontalus lėkio tolis s , ją iššovus iš aukščio h horizontaliai tuo pačiu greičiu?
6. $m = 50$ kg masės kūnas spaudžiamas prie vertikalios sienos $F_{sp} = 4$ N jėga (1.4 pav.). Kokia jėga F reikia veikti šį kūną, kad jis pagreičiu $a = 0,2$ m/s² judėtų vertikaliai aukštyn, jei trinties koeficientas tarp šio kūno ir sienos $\mu = 0,5$?



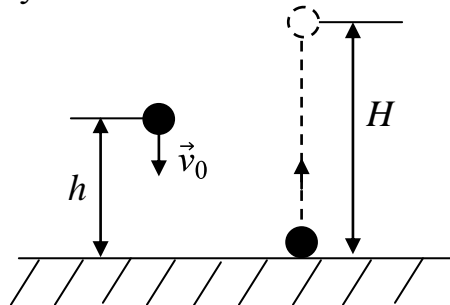
1.4 pav.

7. Iš vamzdžio, gulinčio ant žemės, galo greičiu v_0 kampu α į horizontą trykšta vanduo (1.5 pav.). Ištekėjimo angos skerspjūvio plotas s , vandens tankis ρ . Apskaičiuokite vandens, esančio ore, masę m . Oro pasipriešinimo nepaisyti.



1.5 pav.

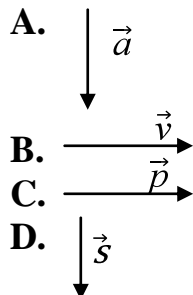
8. Kokiu pradiniu greičiu v_0 reikia vertikaliai žemyn mesti kamuolį (išmetimo aukštis $h = 1$ m), kad jis, po idealiai tampraus smūgio į žemę, pakiltų į $H = 1,5$ m aukštį (1.6 pav.)? Pasipriešinimo nepaisyti.



1.6 pav.

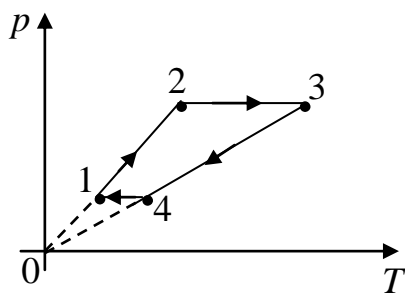
9. Traukinio, kurio ilgis ℓ , pirmo vagono keleivis vaikščiojo po peroną. Kai išsiblaškėlis atsidūrė prie paskutinio vagono galo, traukinys pajudėjo (!). Keleivis greičiu v (pastoviu greičiu) leidosi į savo vagoną, būdamas patenkintas, kad peronas laisvas. Per kokį laiką t jis pavys savo vagoną? Traukinys juda tolygiai greitėdamas pagreičiu a , durys į pirmą vagoną atidarytos tik prie lokomotyvo galo.

10. Kūno poslinkio \vec{s} , greičio \vec{v} , pagreičio \vec{a} ir judėjimo kiekio \vec{p} kryptys parodytos brėžinyje. Kokia kūną veikiančių jėgų atstojamosios kryptis?



11. 1.7 Paveiksle pavaizduotas tam tikros masės idealiųjų dujų uždaro ciklo procesas. Kurio proceso metu nekito idealiųjų dujų tūris?

- A. 2 – 3;
- B. 4 – 1;
- C. 1 – 2 ir 3 – 4;
- D. 2 – 3 ir 4 – 1.



1.7 pav.

- 12.** Iš indo, kuriame yra nedaug $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros vandens, sparčiai siurbiamas oras. Vanduo staigiai garuoja ir dėl to palaipsniui sušąla į ledą. Kuri iš pradžių buvusio vandens dalis gali šitaip virsti ledu?
- 13.** 10 g masės anglirūgštės dujos įkaitinamos palaikant pastovų slėgį nuo $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Raskite dujų plėtimosi darbą ir jų vidinės energijos pokytį. Šių dujų molio masė $0,044\text{ kg/mol}$, $R = 8,32\text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$.
- 14.** Kokį darbą atlieka izobariškai besiplėsdamos 2 mol idealiųjų dujų, kai jų temperatūra padidėjo 2 K?
- A. 2 J;
 - B. 22,4 J;
 - C. 16,62 J;
 - D. 33,24 J.
- 15.** Įkaitintas geležies kubas buvo padėtas ant $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros ledo gabalo. Iki kokios mažiausios temperatūros reikėjo įkaitinti kubą, kad jis visiškai panirtų į ledą? Šilumos nuostolių nepaisyti, reikiamus dydžius imti iš turimų žinynų ar ieškoti internete.
- 16.** 10 g masės kulka, skriedama 1000 m/s greičiu, pataiko į $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros ledo gabalą. Pusė kulkos energijos išeikvojama ledui suskaldyti, kita pusė – ledui tirpinti. Kokia ištirpusio ledo masė? Trūkstamus sprendimui dydžius imkite iš jums prieinamos literatūros ar kitų šaltinių.
- 17.** Kupranugaris klūpodamas išgėrė 80 kg vandens. Šulinio gylis 0,5 m, kupranugario ūgis 2,2 m. Kokį darbą atliko išgertą vandenį veikusių jėgų atstojamoji, kol kupranugaris atsistojo?
- 18.** Koku vandeniu greičiau užgesinsime ugnį – šaltu ar karštu?
- 19.** Į puodą įpilta $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros vandens. Vanduo šildomas pastovios galios šildytuvu. Po 10 min vanduo užvirė. Po kiek laiko vanduo išgaruos? Atmosferos slėgis normalus. Trūkstamus dydžius, manyčiau, rasite „kur nors“.
- 20.** (Kūrybinis). Pasiūlykite vieną būdą metalo savitajai šilumai nustatyti (ne vadovėlinį).

II TURAS

ELEKTROSTATIKA. NUOLATINĖS SROVĖS DĖSNIAI. MAGNETINIS LAUKAS. ELEKTROMAGNETINĖ INDUKCIJA. ELEKTROMAGNETINIAI VIRPESIAI IR BANGOS

Metodiniai nurodymai

Elektrostatika

Elektrostatika – elektrodinamikos skyrius, kuriame nagrinėjami nejudančių elektros krūvių sąveikos dėsniai.

Elektronas ir protonas – mažiausios stabilios elektringosios dalelės: elektrono krūvis neigiamas, o protono – teigiamas. Jų krūvis absoliutine verte yra vienodas ir vadinamas elementariuoju. Jis žymimas raide e :

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

Krūvio tvermės dėsnis: uždaros sistemos kūnų krūvių algebrinė suma yra pastovi, t. y.

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.} \quad (2.1)$$

Kulono dėsnis: dviejų taškinių nejudančių įelektrintų kūnų sąveikos jėga vakuume tiesiog proporcinga krūvių modulių sandaugai ir atvirkščiai proporcinga atstumo tarp jų kvadratui:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}; \quad (2.2)$$

čia F – sąveikos jėga,

k – Kulono dėsnio koeficientas, $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0};$$

čia ϵ_0 – elektrinė konstanta, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$.

Elektrinio lauko stipris

$$E = \frac{F}{q}; \quad (2.3)$$

čia E – elektrinio lauko stipris, matuojamas $\frac{N}{C}$ arba $\frac{V}{m}$,

F – jėga, veikianti taškinį krūvį,

q – taškinis krūvis.

Krūvio vienetas C – kulonas.

Taškinio krūvio q lauko stipris:

$$E = k \frac{q}{r^2}; \quad (2.4)$$

čia r – atstumas nuo krūvio iki tiriamojo lauko taško.

Aplinkos dielektrinė skvarba:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_0};$$

čia E – elektrinio lauko stiprio modulis vienalyčio dielektriako viduje,

E_0 – elektrinio lauko stiprio modulis vakuume.

Elektrinio lauko stipris dielektrike randamas pagal formulę:

$$E = k \frac{q}{\varepsilon r^2}. \quad (2.5)$$

Kulono dėsnis dielektrike užrašomas:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2}. \quad (2.6)$$

Potencialų skirtumas (įtampa) lygus:

$$U = \frac{A}{q}; \quad (2.7)$$

čia U – įtampa,

A – darbas, kuris atliekamas perkeltant krūvį iš pradinio taško į galinį,

q – krūvis.

Potencialų skirtumo matavimo vienetas voltas (V):

$$1V = \frac{1J}{1C}.$$

Elektrinio lauko potencinė energija:

$$E_p = qEd; \quad (2.8)$$

čia d – atstumas tarp taškų, tarp kurių perkeliamas krūvis q .

Elektrinio lauko stiprio ir potencialų skirtumo ryšys:

$$E = \frac{U}{d}; \quad (2.9)$$

čia U – įtampa,

E – elektrinio lauko stipris,

d – atstumas tarp taškų.

Elektrinė talpa:

$$C = \frac{q}{U}; \quad (2.10)$$

čia C – elektrinė talpa, matuojama F (faradais):

$$1\text{F} = \frac{1\text{C}}{1\text{V}}.$$

Išvestiniai vienetai:

mikrofaradas $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{F}$,

pikofaradas $1 \text{pF} = 10^{-12} \text{F}$.

Plokščiojo kondensatoriaus talpa:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}; \quad (2.11)$$

čia ε – dielektrinė skvarba,

ε_0 – elektrinė konstanta,

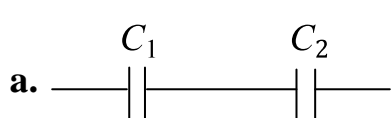
S – vienos plokštės plotas,

d – atstumas tarp plokščių.

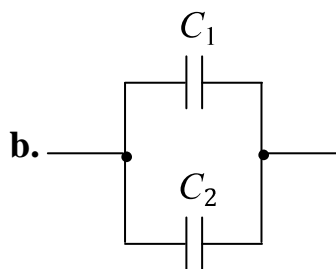
Įkrauto kondensatoriaus energija apskaičiuojama pagal formules:

$$E_p = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}. \quad (2.12)$$

Nuosekliai (2.1 pav. a) sujungtų kondensatorių talpa randama:

a.  $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2},$ (2.13)

$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$



2.1 pav.

Lygiagrečiai (2.1 pav. b) sujungtų kondensatorių talpa apskaičiuojama:

$$C = C_1 + C_2 . \quad (2.14)$$

Nuolatinė elektros srovė

Elektros srove vadinamas kryptingas (tvarkingas) elektringųjų dalelių judėjimas.

Srovės stipris lygus krūvio q , pratekančio laidininko skerspjūviu per laiko tarpą t , ir laiko tarpo santykiui:

$$I = \frac{q}{t}; \quad (2.15)$$

čia I – srovės stipris, matuojamas A (amperais):

$$1\text{A} = \frac{1\text{C}}{1\text{s}} .$$

Srovė, kurios stipris nekinta, vadinama nuolatine.

Omo dėsnis grandinės daliai: srovės stipris tiesiog proporcingas įtampai U ir atvirkščiai proporcingas laidininko varžai R :

$$I = \frac{U}{R} . \quad (2.16)$$

Iš čia galime rasti

$$R = \frac{U}{I} .$$

Čia R – laidininko varža, priklauso nuo medžiagos temperatūros ir geometrinių matmenų, matuojama Ω (omais).

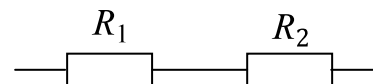
$$1\Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}} .$$

$$R = \rho \frac{\ell}{S}; \quad (2.17)$$

čia ρ – savitoji laidininko varža, matuojama $\Omega \cdot \text{m}$,
 ℓ – laidininko ilgis,
 S – laidininko plotas.

Savitosios varžos fizikinė prasmė: savitosios varžos skaitinė vertė lygi laidininko – kubo, kurio briauna 1 m, – varžai, kai 1 A srovė išilgai normalės nukreipta į dvi priešingas kubo sienas.

Nuoseklusis laidininkų jungimas (2.2 pav.)

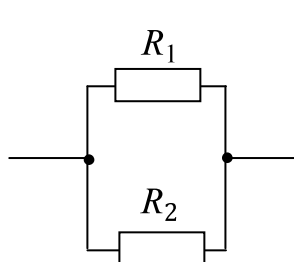


Pilnutinė varža $R = R_1 + R_2.$ (2.18)

Srovės stipris $I_1 = I_2 = I.$ (2.19)

Įtampa $U = U_1 + U_2.$ (2.20)

Lygiagretusis laidininkų jungimas (2.3 pav.)



Pilnutinė varža $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$ (2.21)

Srovės stipris $I = I_1 + I_2.$ (2.22)

Įtampa $U_1 = U_2 = U.$ (2.23)

2.3 pav.

Elektros srovės darbas

$$A = UIt;$$
 (2.24)

čia A – elektros srovės darbas,
 U – įtampa,
 I – srovės stipris,
 t – laikas.

Darbo matavimo vienetas:

$$1\text{J} = 1\text{ V} \cdot 1\text{ A} \cdot 1\text{ s}.$$

Šilumos kiekis, išskiriamas laidininke, kuriuo teka srovė, lygus srovės stiprio I kvadrato, laidininko varžos R ir srovės tekėjimo laiko t sandaugai (**Džaulio ir Lenco dėsnis**):

$$Q = I^2 Rt.$$
 (2.25)

Srovės galia

$$P = UI,$$
 (2.26)

čia P – galia,
 U – įtampa,
 I – srovės stipris.

Galia matuojama vatais (W)

$$1\text{ W} = 1\text{ V} \cdot 1\text{ A}.$$

Elektrovaros jėga ε uždaramame kontūre lygi pašalinių jėgų darbo, atliekamo perkeliant krūvį kontūru, ir to krūvio santykiui:

$$\varepsilon = \frac{A_{paš}}{q}; \quad (2.27)$$

čia ε – elektrovaros jėga (evj), matuojama voltais (V),

$A_{paš}$ – pašalinių jėgų darbas (J),

q – krūvis (C).

Omo dėsnis visai grandinei:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}; \quad (2.28)$$

čia ε – elektrovaros jėga (evj), matuojama voltais (V),

R – išorinė varža (Ω),

r – šaltinio vidinė varža (Ω),

I – srovės stipris (A).

Pirmasis Faradėjaus elektrolizės dėsnis: ant elektrodo nusėdusios medžiagos masė m proporcinga srovės stipriui I ir laikui Δt .

$$m = kI\Delta t; \quad (2.29)$$

čia k – medžiagos elektrocheminis ekvivalentas (matuojamas kg/C).

Antrasis Faradėjaus elektrolizės dėsnis: medžiagų elektrocheminiai ekvivalentai proporcingi jų cheminiam ekvivalentams.

$$k = \frac{1}{F} \frac{M}{n}; \quad (2.30)$$

čia $\frac{M}{n}$ – cheminis ekvivalentas (M – elemento molio masė, n – valentingumas),

F – Faradėjaus konstanta.

$$F = e N_A;$$

čia e – elementarusis krūvis,

N_A – Avogadro skaičius, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$,

$F = 96500 \text{ C/mol}$.

Veikiant dujas jonizatoriumi (kaitinant, švitinant ultravioletiniais, rentgeno, radioaktyviais spinduliais) nuo dalies atomų atplėšiami vienas ar keli elektronai ir atomai tampa teigiamą krūvį turinčiais jonais. Toks procesas vadinamas **dujų jonizacija**, o pačios dujos – jonizuotomis.

Elektrono įgyta kinetinė energija $\frac{mv^2}{2}$ proporcinga elektrinio lauko stipriui E ir elektrono laisvojo kelio ilgiui ℓ :

$$\frac{mv^2}{2} = eE\ell. \quad (2.31)$$

Magnetinis laukas

Magnetinį lauką sukuria elektros srovė (judantys elektros krūviai) ir kintantis elektrinis laukas. Magnetinio lauko charakteristika yra magnetinės indukcijos vektorius \vec{B} .

Magnetinio lauko linijomis vadiname tokias linijas, kurių liestinės kiekviename taške sutampa su vektoriaus \vec{B} kryptimi tame taške (2.4 pav.).

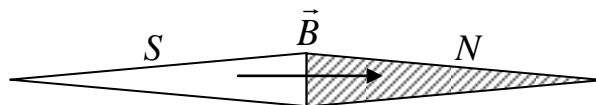


2.4 pav.

Magnetinio lauko linijos visada yra uždaros kreivės, juosiančios laidininką, kuriuo teka elektros srovė; toks laukas vadinamas sūkuriniu lauku.

Magnetinis laukas neturi šaltinių. Magnetinių krūvių, panašių į elektros krūvius, gamtoje nėra.

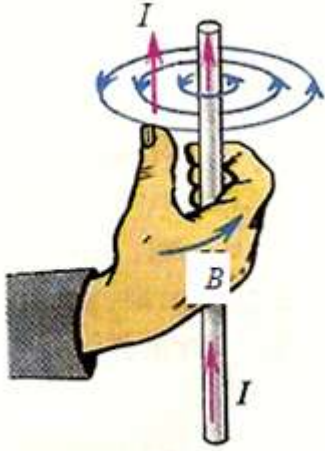

Magnetinės indukcijos vektoriaus kryptimi magnetinėje rodyklėje laikoma kryptis iš pietinio poliaus S į šiaurinį polį N , kai rodyklė laisvai nusistovi magnetiniame lauke (2.5 pav.).



2.5 pav.

Magnetinės indukcijos vektoriaus kryptį (jėgų linijų kryptį) galima nustatyti ir be magnetinės rodyklės, t. y. remiantis **dešinėsios rankos taisykle**: jeigu dešine ranka apimsime laidininką taip, kad ištiestas nykštys rodytų srovės kryptį, tai pirštai rodys magnetinio lauko linijų kryptį.

Apskritiminės srovės arba solenoido magnetiniam laukui taikoma „atvirkščia“ taisyklė: dešine ranka reikia apimti ritę taip, kad pirštai rodytų srovės kryptį – tada ištiestas nykštys rodys magnetinio lauko linijų kryptį (šiaurės polį).

<p>Dešinėsios rankos taisyklė tiesaus laidininko su srove magnetiniam laukui.</p> 	<p>Dešinėsios rankos taisyklė apskritiminės srovės arba solenoido magnetiniam laukui.</p> 
--	--

2.6 pav.

Magnetinės indukcijos modulių vadiname maksimalios jėgos F_m , kuria magnetinis laukas veikia laidininko dalį, kuria teka srovė, ir srovės stiprio I bei tos laidininko dalies ilgio ℓ sandaugos santykį:

$$B = \frac{F_m}{I \cdot \ell}. \quad (2.32)$$

Uždara kontūrą veikiančio magnetinio lauko magnetinės indukcijos formulė:

$$B = \frac{M}{I \cdot S}; \quad (2.33)$$

čia M – jėgos momentas,
 I – srovės stipris,
 S – kontūro plotas.

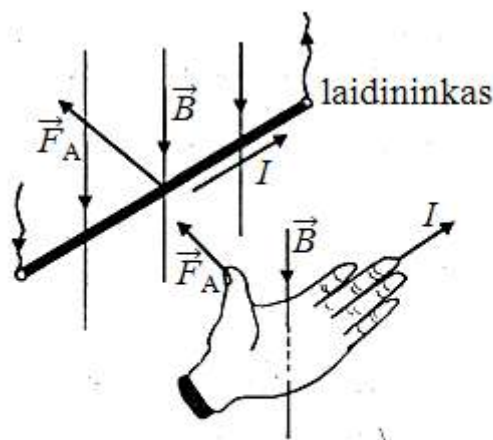
Magnetinės indukcijos matavimo (SI) vienetas yra tesla T:

$$1\text{T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

Ampero jėga lygi magnetinės indukcijos vektoriaus \vec{B} , srovės stiprio I , laidininko atkarpos ilgio ℓ ir kampo α tarp magnetinės indukcijos ir laidininko atkarpos sinuso sandaugai:

$$F = B I \ell \sin \alpha. \quad (2.34)$$

Kairiosios rankos taisyklė (2.7 pav.): ranka laikoma taip, kad statmena laidininkui magnetinės indukcijos vektoriaus \vec{B} dedamoji nukreipta į delną, o keturi ištiesti pirštai rodo srovės kryptį, tai 90° kampu ištiestas nykštys parodo laidininką veikiančios jėgos kryptį.



2.7 pav.

Jėga, kuria magnetinis laukas veikia judančią elektringąją dalelę, vadinama **Lorenco jėga**:

$$F_L = q v B \sin \alpha; \quad (2.35)$$

čia q – dalelės krūvis,

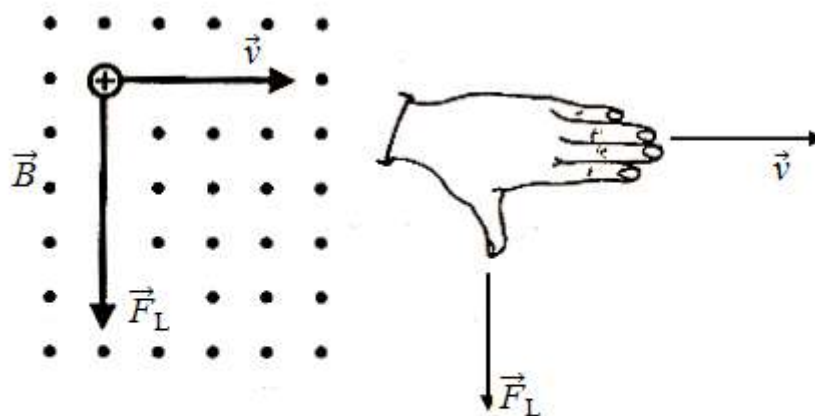
v – dalelės greitis,

B – magnetinės indukcijos vektorius,

α – kampas, kurį sudaro greičio vektorius su magnetinės indukcijos vektoriumi.

Lorenco jėga statmena magnetinės indukcijos \vec{B} ir greičio \vec{v} vektoriams.

Lorenco jėgos kryptis nustatoma pagal kairiosios rankos taisyklę: jeigu kairioji ranka laikoma taip, kad statmenoji magnetinės indukcijos vektoriaus \vec{B} komponentė kerta delną, o keturi ištiesti pirštai rodo teigiamai įelektrintos dalelės judėjimo magnetiniame lauke kryptį, tai 90° kampu ištiestas nykštys rodo elektringąją dalelę veikiančios Lorenco jėgos kryptį.



Magnetinės indukcijos linijos
nukreiptos į mus

2.8 pav.

Pastovaus modulio greičiu vienalyčiame magnetiniame lauke įelektrinta dalelė juda r spindulio apskritimu:

$$r = \frac{mv}{qB}; \quad (2.36)$$

čia m – dalelės masė,

v – dalelės greitis,

q – dalelės krūvis,

B – magnetinio lauko indukcija.

Magnetinė skvarba:

$$\mu = \frac{B}{B_0}; \quad (2.37)$$

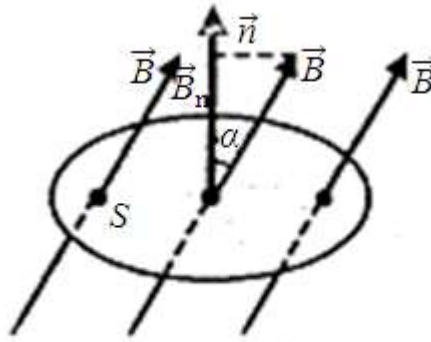
čia B – magnetinės indukcijos vektorius vienalytėje terpėje (aplinkoje),

B_0 – magnetinės indukcijos vektorius vakuume.

Magnetiniu srautu Φ , kertančiu S ploto paviršių, vadinamas dydis, lygus magnetinės indukcijos vektoriaus moduliui, padaugintam iš ploto bei kampo α tarp vektorių \vec{B} ir \vec{n} (paviršiaus normalės) (2.8 pav.) kosinuso:

$$\Phi = BS \cos \alpha. \quad (2.38)$$

Magnetinis srautas yra dydis, proporcingas kontūro paviršiaus plotą kertančių magnetinės indukcijos linijų skaičiui.



2.9 pav.

Magnetinio srauto matavimo vienetas vadinamas vėberiu:

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

Elektromagnetinė indukcija.

Elektros srovės atsiradimas uždame laidininke, kintant jį veriančiam magnetiniam srautui, vadinamas **elektromagnetine indukcija**.

Elektromagnetinės indukcijos dėsnis: uždame kontūre atsiradusi indukcinė elektrovaros jėga proporcinga kontūro ribojamą plotą kertančio magnetinio srauto kitimo greičiui:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (2.39)$$

Atsižvelgiant į laidaus kontūro vijų N skaičių, elektromagnetinės indukcijos dėsnis užrašomas taip:

$$\mathcal{E}_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (2.40)$$

Magnetiniame lauke judančiame laidininke atsiradusi indukcijoje evj randama:

$$\mathcal{E}_i = B\ell v \sin \alpha; \quad (2.41)$$

čia B – magnetinė indukcija,

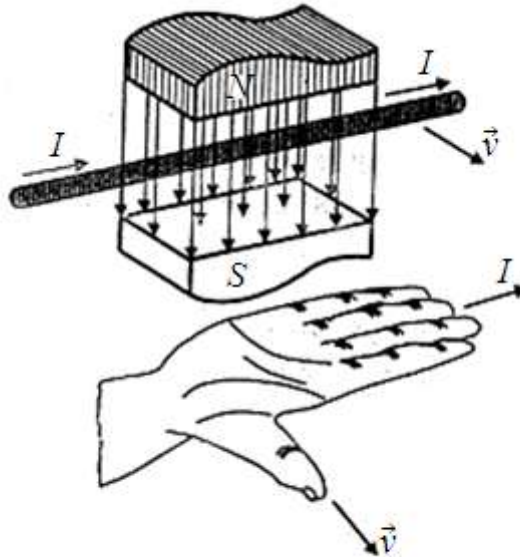
ℓ – laidininko ilgis,

v – laidininko judėjimo greitis,

α – kampas tarp magnetinių linijų ir laidininko judėjimo greičio kryptį.

Indukuotosios srovės kryptiai nustatyti taikoma **Lenco taisyklė**: uždame kontūre atsirandanti indukcinė srovė teka tokia kryptimi, kad jos sukurtas magnetinis srautas, kertantis kontūro ribojamą plotą, stengiasi kompensuoti šią srovę sukėlusio magnetinio srauto kitimą.

Šios srovės kryptį rasti galima taikyti dešinės rankos taisyklę (2.9 pav.): ištiesus dešinę ranką išilgai laidininko taip, kad magnetinės indukcijos linijos eitų į delną, o atlenktas nykštys rodytų laidininko judėjimo kryptį, keturi ištiesti pirštai rodys tame laidininke indukuotosios srovės kryptį.



2.10 pav.

Saviindukcijos reiškiniu vadinamas indukcinės evj atsiradimas srovės grandinėje, kai kinta ja tekančios elektros srovės stipris.

Laidžiu kontūru tekančios srovės magnetinis srautas Φ , kertantis kontūro plotą S , proporcingas srovės stipriui I :

$$\Phi = LI; \quad (2.42)$$

čia L – kontūro (ritės) induktyvumas.

Saviindukcinė elektrovaros jėga proporcinga srovės stiprio kitimo greičiui:

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}; \quad (2.43)$$

čia $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ – srovės stiprio kitimo greitis.

Induktyvumas – fizikinis dydis, kurio skaitinė vertė lygi kontūre atsirandančiai saviindukcinei evj, per 1 s pakitus srovės stipriui 1 A. Jis priklauso nuo laidininko matmenų ir formos bei aplinkos magnetinių savybių ir nepriklauso nuo laidininku tekančios srovės stiprio.

Induktyvumo matavimo vienetas yra H (henris).

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

Elektros srovės sukurto magnetinio lauko energija W_m :

$$W_m = \frac{LI^2}{2}; \quad (2.44)$$

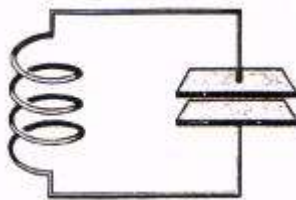
čia L – induktyvumas,

I – srovės stipris.

Elektromagnetiniai virpesiai ir bangos.

Periodiškas elektros krūvio, srovės stiprio ir įtampos kitimas vadinamas elektriniais virpesiais.

Kondensatorius ir prie jo plokščių prijungta ritė sudaro paprasčiausią sistemą, kurioje gali vykti laisvieji elektriniai virpesiai, vadinamą virpesių kontūru (2.10 pav.).



2.11 pav.

Lygtis, apibūdinanti virpesių kontūre vykstančius procesus:

$$q'' = -\frac{1}{LC}q; \quad (2.45)$$

čia C – kondensatoriaus talpa,

L – ritės induktyvumas,

q – krūvis,

q'' – krūvio antroji išvestinė.

Šios lygties sprendimo išraiška:

$$q = q_m \cos \omega_o t; \quad (2.46)$$

čia q_m – krūvio amplitudinė vertė,

ω_o – kampinis dažnis, t. y. svyravimų dažnis per 2π sekundžių,

t – laikas.

$$\omega_o = 2\pi\nu \quad \text{arba} \quad \omega_o = \frac{2\pi}{T};$$

čia ν – kontūro savųjų virpesių dažnis,

T – periodas.

Virpesių kontūro savųjų virpesių periodas T priklauso nuo induktyvumo L ir talpos C :

$$T = 2\pi \sqrt{LC}. \quad (2.47)$$

Dažnis:

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \text{arba} \quad \nu = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}.$$

Elektrinių virpesių kampinis dažnis:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (2.48)$$

Srovės stiprio virpesių kontūre kitimo lygtis:

$$i = I_m \cos \left(\omega_o t + \frac{\pi}{2} \right); \quad (2.49)$$

čia i – srovės stiprio momentinė vertė,

I_m – amplitudinė srovės stiprio vertė.

Elektros srovė, kurios stipris ir kryptis periodiškai kinta, vadinama **kintamąja elektros** srove.

Kintamosios srovės harmoninis kitimas:

$$i = I_m \cos (\omega t + \varphi); \quad (2.50)$$

čia i – kintamosios srovės momentinė vertė,

I_m – amplitudinė vertė,

φ – srovės stiprio ir įtampos virpesių fazių skirtumas (poslinkis).

Kintamosios įtampos harmoninis kitimas:

$$u = U_m \cos \omega t; \quad (2.51)$$

čia u – įtampos momentinė vertė,

U_m – įtampos amplitudinė vertė.

Kintamosios elektros srovės stiprio I , įtampos U ir elektrovaros efektinės vertės:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad \mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{2}}. \quad (2.52)$$

Talpinė varža:

$$X_c = \frac{1}{\omega C}. \quad (2.53)$$

Induktyvioji varža:

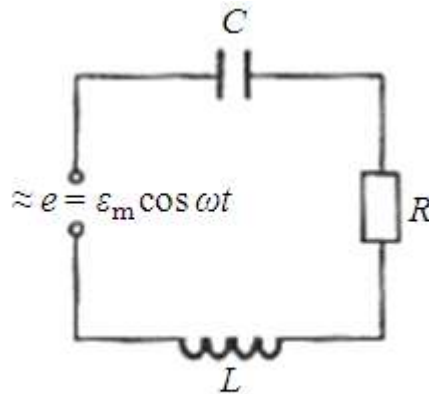
$$X_L = \omega L. \quad (2.54)$$

Aktyvioji varža:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Pilnutinė kintamosios elektros srovės grandinės varža:

$$X = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}. \quad (2.55)$$



2.12 pav.

Omo dėsnis kintamosios elektros srovės grandinei:

$$I = \frac{\varepsilon}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}. \quad (2.56)$$

Transformatoriaus transformacijos koeficientas:

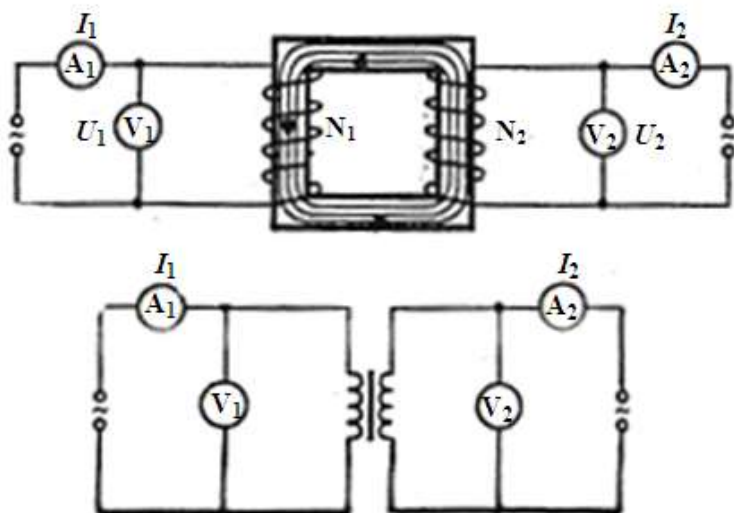
$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}; \quad (2.57)$$

čia N_1 ir N_2 – pirminės ir antrinės apvijų vijų skaičius,

U_1 ir U_2 – pirminės ir antrinės transformatoriaus apvijų įtamos,

I_1 ir I_2 – pirminės ir antrinės transformatoriaus apvijų srovės stipriai.

Kai $K < 1$ – įtamos



2.13 pav.

aukštinimo transformatorius.

Kai $K > 1$ – įtampos žeminimo transformatorius.

Transformatoriaus apvijoje atsiradusių indukcinųjų evj santykis proporcingas apvijų vijų skaičiaus santykiui:

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (2.58)$$

Periodiškai erdvėje besikeičiantis elektrinis ir magnetinis laukas vadinamas **elektromagnetiniu lauku**.

Elektromagnetinio lauko plitimas aplinkoje vadinamas **elektromagnetine banga**. Elektromagnetinės bangos spinduliuoja atviras virpesių kontūras. Pagrindinė elektromagnetinių bangų spinduliavimo sąlyga yra krūvio judėjimas su pagreičiu. Vakuume elektromagnetinės bangos sklinda šviesos greičiu $c = 300000 \text{ km/s}$.

Elektromagnetinių bangų ilgis λ :

$$\lambda = c \cdot T \text{ arba } \lambda = \frac{c}{\nu}; \quad (2.59)$$

čia c – šviesos greitis,
 T – periodas,
 ν – dažnis.

Elektromagnetinių bangų savybės: atspindys, lūžimas, sugertis, interferencija, difrakcija, poliarizacija.

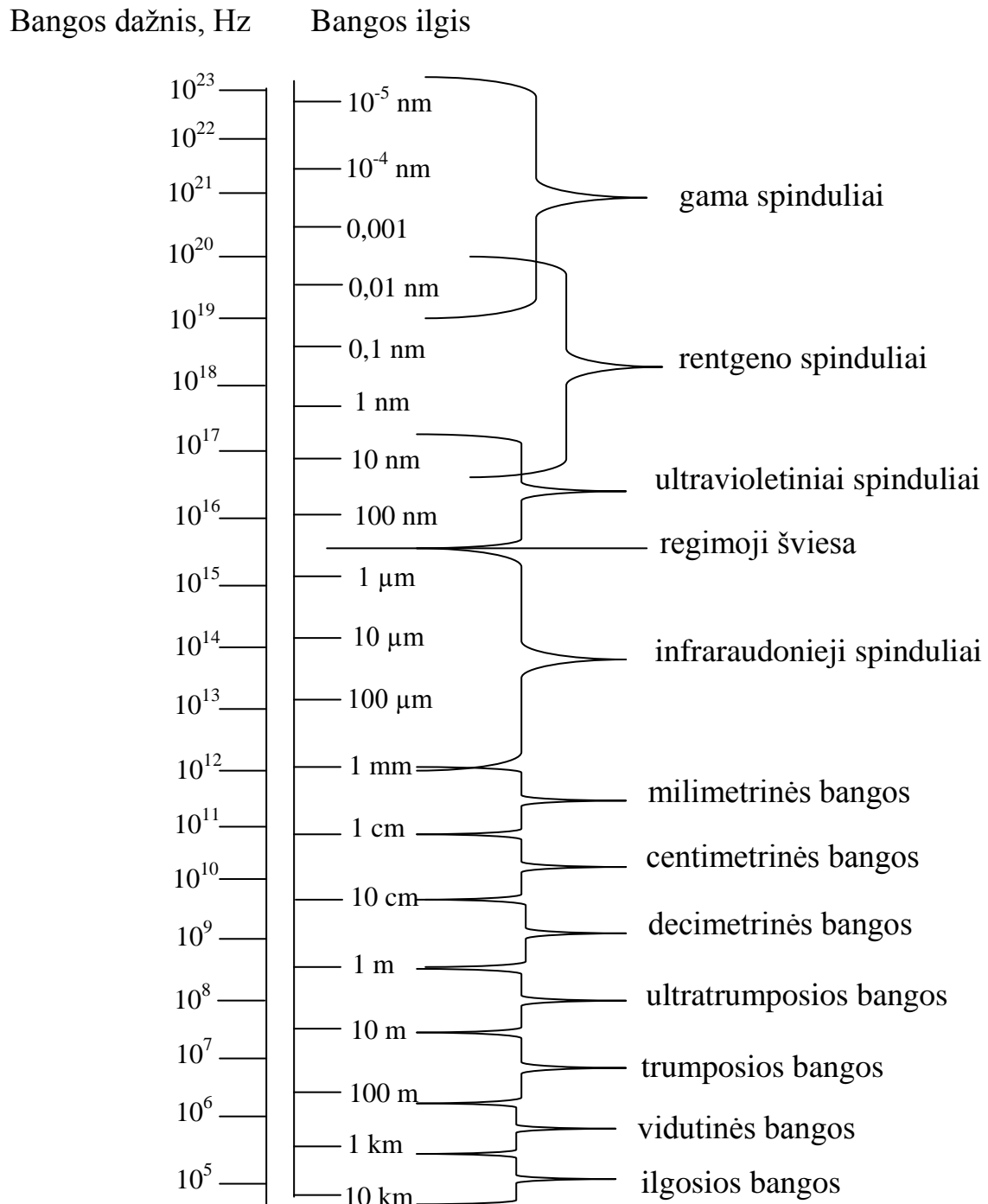
Ryšiams naudojamos elektromagnetinės bangos vadinamos **radijo bangomis**. Radijo ryšiui naudojamos nuo 10 km iki 1 km ilgio bangos vadinamos ilgosiomis, nuo 1 km iki 100 m – vidutinėmis, nuo 10 m iki 1 cm – ultratrumposiomis.

Objektų aptikimas ir jų buvimo vietos tikslus nustatymas radijo bangomis vadinamas **radiolokacija**. Atstumas R randamas išmatavus laiką t , per kurį bangos impulsas pasiekia objektą ir grįžta atgal:

$$R = \frac{c t}{2}; \quad (2.60)$$

čia c – bangos sklidimo greitis.

Elektromagnetinių bangų skalė



Testinio pobūdžio uždavinių pavyzdžiai

1. Du įelektrinti rutuliukai veikia vienas kitą 2 N jėga. Kokia būtų šių rutuliukų sąveikos jėga, jeigu abiejų rutuliukų krūviai padidėtų dvigubai, o atstumas tarp rutuliukų centrų nepakistų?

- A. 2 N;
- B. 4 N;
- C. 6 N;
- D. 8 N.

Pritaikome Kulono dėsnį:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

kadangi krūviai padidėja dvigubai, tai

$$F_1 = k \frac{2q_1 \cdot 2q_2}{r^2},$$

$$F_1 = 4k \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

$$F_1 = 4F.$$

Pagal sąlygą $F = 2 \text{ N}$, tai $F_1 = 4 \cdot 2 \text{ N} = 8 \text{ N}$. Vadinasi, teisingas variantas D.

Atsakymas: D.

2. Kokį darbą atlieka elektrinis laukas perkeldamas 10 nC elektros krūvį iš taško, kurio potencialas 50 V, į tašką, kurio potencialas 150 V?

- A. 10^{-10} J ;
- B. 0,1 J;
- C. 10^{-6} J ;
- D. 100 J.

Taikome potencialų skirtumo apibrėžimą:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q},$$

iš čia

$$A = qU,$$

bet $U = \varphi_1 - \varphi_2$, todėl

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Apskaičiuojame gauname:

$$A = 10 \cdot 10^{-9} \text{ C}(150 \text{ V} - 50 \text{ V}),$$

$$A = 1000 \cdot 10^{-9} \text{ J} = 10^{-6} \text{ J},$$

todėl teisingas atsakymas C.

Atsakymas: C.

3. Rite teka 5 A nuolatinė elektros srovė. Ritės magnetinio lauko energija 37,5 J. Koks ritės induktyvumas?

A. 7,5 H;

B. 1,5 H;

C. 15 H;

D. 3 H.

Taikome ritės magnetinio lauko energijos formulę:

$$W_m = \frac{L \cdot I^2}{2},$$

iš čia

$$L = \frac{2 \cdot W_m}{I^2},$$

randame ritės induktyvumą:

$$L = \frac{2 \cdot 37,5 \text{ J}}{25 \text{ A}^2} = \frac{75 \text{ J}}{25 \text{ A}^2} = 3 \text{ H}.$$

Teisingas variantas D.

Atsakymas: D.

4. Transformatoriaus pirminės apvijos įtampa 220 V, o antrinės apvijos įtampa 380 V. Antrine apvija teka 0,25 A srovė. Kokia srovė teka pirminėje apvijoje, jei transformatoriaus naudingumo koeficientas 96 %?

A. $\approx 2,22 \text{ A}$;

B. $\approx 1,11 \text{ A}$;

C. $\approx 0,45 \text{ A}$;

D. $\approx 0,9 \text{ A}$.

Transformatoriaus naudingumo koeficientas lygus

$$\eta = \frac{P_2}{P_1},$$

čia $P_1 = U_1 I_1$ – galia pirminėje apvijoje, $P_2 = U_2 I_2$ – galia antrinėje apvijoje.
Vadinasi,

$$\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1},$$

iš čia

$$I_1 = \frac{U_2 I_2}{\eta \cdot U_1};$$

$$I_1 = \frac{380 \text{ V} \cdot 0,25 \text{ A}}{0,96 \cdot 220 \text{ V}} = \frac{95 \text{ A}}{211,2}.$$

$$I_1 \approx 0,45 \text{ A}.$$

Atsakymas: C.

Kompleksinių uždavinių pavyzdžiai

5. Taškiniai $2\ \mu\text{C}$ ir $-4\ \mu\text{C}$ vertės krūviai vakuume nutolę vienas nuo kito $30\ \text{cm}$ atstumu:

5.1. Kokia jėga pirmasis krūvis veiks trečiąjį taškinį $40\ \text{nC}$ krūvį, esantį viduryje tarp kitų dviejų?

5.2. Kokia jėga antrasis krūvis veiks trečiąjį krūvį?

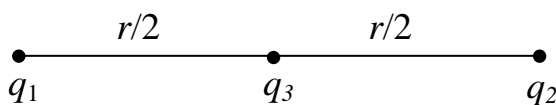
5.3. Nubrėškite brėžinį ir pavaizduokite trečiąjį krūvį veikiančias jėgas.

5.4. Apskaičiuokite trečiąjį krūvį veikiančių jėgų atstojamąją.

5.5. Kaip pakistų atstojamosios jėgos skaitinė vertė, jei krūviai q_1 sąveikautų dielektrike, kurio dielektrinė skvarba $2,1$?

5.6. Kokia jėga veiks tie abu krūviai vienas kitą prieš tai buvę sujungti ir vėl atskirti tuo pačiu atstumu?

5.1. Brėžinyje (2.13 pav.) pažymime visus tris krūvius.



2.14 pav.

Veikiančią jėgą tarp q_1 ir q_3 randame taikydami Kulono dėsnį:

$$F_{31} = k \frac{|q_1| \cdot |q_3|}{\left(\frac{r}{2}\right)^2}.$$

$$F_{31} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6} \text{C} \cdot 4 \cdot 10^{-8} \text{C}}{0,15\text{m}^2} = \frac{72 \cdot 10^{-5} \text{N}}{0,0225} = 3200 \cdot 10^{-5} \text{N}.$$

$$F_{31} = 32 \cdot 10^{-3} \text{N} = 32 \text{mN}.$$

Atsakymas: $F_{31} = 32 \text{ mN}$.

5.2. Antrasis krūvis veiks trečiąjį krūvį jėga:

$$F_{32} = k \frac{|q_2| \cdot |q_3|}{\left(\frac{r}{2}\right)^2}$$

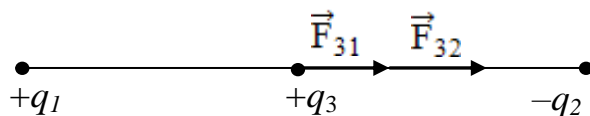
$$F_{32} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6} \text{C} \cdot 4 \cdot 10^{-8} \text{C}}{0,15\text{m}^2} = \frac{144 \cdot 10^{-5} \text{N}}{0,0225};$$

$$F_{32} = 6400 \cdot 10^{-5} \text{N} = 64 \cdot 10^{-3} \text{N} = 64 \text{ mN};$$

$$F_{32} = 64 \text{ mN}.$$

Atsakymas: $F_{32} = 64 \text{ mN}$.

5.3. Brėžinyje (2.14 pav.) pažymime trečiąjį krūvį veikiančias jėgas:



2.15 pav.

5.4. Kadangi q_1 stumia q_3 , nes krūviai vienasrūšiai, o q_2 traukia q_3 , nes krūviai skirtingų ženklų, tai abi jėgos nukreiptos link krūvio q_2 . Vadinasi, atstojamoji jėga lygi:

$$\vec{F} = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}, \quad \text{t. y.} \quad F = F_{31} + F_{32},$$

$$F = 32 \text{ mN} + 64 \text{ mN} = 98 \text{ mN}$$

arba

$$F = 98 \cdot 10^{-3} \text{N}.$$

Atsakymas: $F = 98 \text{ mN}$.

5.5. Jeigu krūviai sąveikauja dielektrike, tai Kulono dėsnį užrašome:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon \cdot r^2},$$

taigi veikianti jėga tarp krūvių sumažėja ε kartų. ε kartų sumažės ir atstojamoji jėga

$$F_1 = \frac{F}{\varepsilon};$$

$$F_1 = \frac{98 \text{ mN}}{2,1} \approx 46,67 \text{ mN}.$$

Atsakymas: $F_1 \approx 46,67 \text{ mN}$ arba $F_1 = 46,67 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.

5.6. Sujungti du krūviai susideda ir pasidalija po lygiai, vadinasi,

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

$$q'_1 = q'_2 = \frac{2 \mu\text{C} + (-4 \mu\text{C})}{2} = \frac{-2 \mu\text{C}}{2} = -1 \mu\text{C}.$$

Veikiančią jėgą randame taikydami Kulono dėsnį.

$$F_2 = k \frac{|q'_1| \cdot |q'_2|}{r^2}.$$

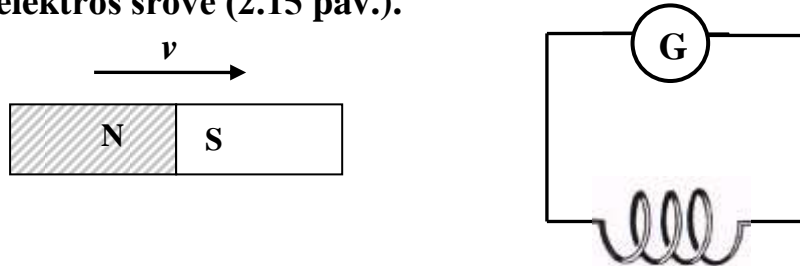
$$F_2 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-6} \text{C} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{C}}{(0,3)^2};$$

$$F_2 = \frac{9 \cdot 10^{-3} \text{N}}{0,09} = 100 \cdot 10^{-3} \text{N};$$

$$F_2 = 100 \text{ mN}.$$

Atsakymas: $F_2 = 100 \text{ mN}$ arba $F_2 = 100 \cdot 10^{-3} \text{ N} = 0,1 \text{ N}$.

6. Demonstruojant elektromagnetinės indukcijos reiškinių link ritės, prie kurios prijungtas galvanometras, artinamas pietinis magneto polius. Ritėje atsirado elektros srovė (2.15 pav.).



2.16 pav.

6.1. Paveiksle pažymėkite magnetinio lauko, kertančio ritę, kryptį.

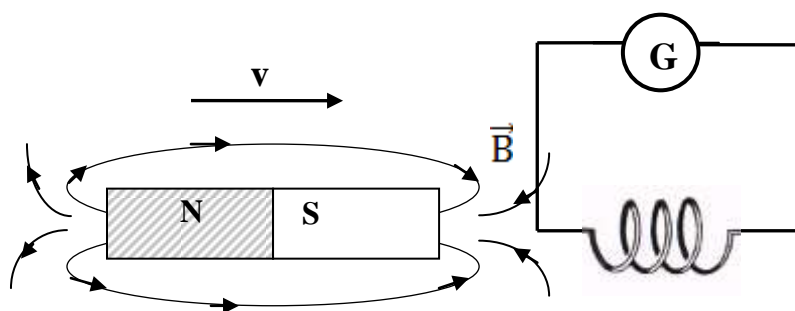
6.2. Paveiksle pažymėkite elektros srovės, tekančios rite ir galvanometru, kryptį.

6.3. Koks ritės vijų skaičius, kai magnetinio srauto kitimo greitis 5 mWb/s ir joje indukuojasi $2,5 \text{ V}$ evj?

6.4. Ką reikia daryti, kad bandymo metu galvanometru tekėtų stipresnė srovė? Pasiūlykite bent du būdus.

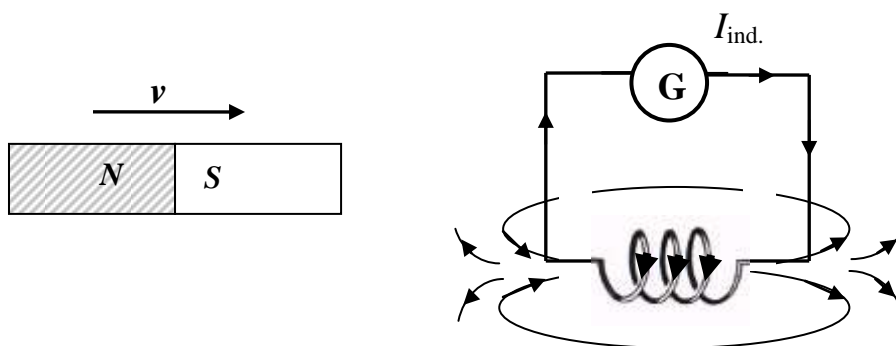
6.5. Kai 0,5 H induktyvumo rite tekančios srovės stipris padidėja 2 kartus, jos magnetinio lauko energija padidėja 3 J. Apskaičiuokite srovės stiprio ir ritės magnetinio lauko energijos pradines vertes.

6.1. Kadangi magnetinio lauko jėgų linijos yra uždaros, o magnetinės indukcijos vektorius nukreiptas nuo šiaurinio poliaus link pietinio magneto išorėje, tai brėžinyje jėgų linijas galima pavaizduoti (2.16 pav.):



2.17 pav.

6.2. Pagal Lenco taisyklę indukuotoji srovė visada teka tokia kryptimi, kad jos sukurtas magnetinis laukas priešinasi tam magnetiniam laukui, kuris sukūrė šią srovę. Todėl tame ritės gale, kuris yra prie artėjančio magneto, susidaro pietinis polius (S), o kitame gale šiaurinis polius (N). Taikydami dešinėsios rankos arba dešiniojo sraigto taisyklę randame indukuotosios srovės kryptį.



2.18 pav.

6.3. Pagal elektromagnetinės indukcijos dėsnį:

$$\varepsilon = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

čia N – ritės vijų skaičius, $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ – srauto kitimo greitis.

$$N = \frac{\varepsilon}{\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}};$$

$$N = \frac{2,5 \text{ V}}{5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Wb}}{\text{s}}} = 500.$$

Atsakymas: $N = 500$.

6.4. Norint sustiprinti indukuotą srovę reikia:

- 1) naudoti stipresnį magnetą,
- 2) didinti magneto judėjimo greitį,
- 3) didinti vijų skaičių ritėje.

6.5. Taikome ritės magnetinio lauko energijos formulę

$$W_m = \frac{LI^2}{2},$$

čia W_m – magnetinio lauko energija, L – ritės induktyvumas, I – rite tekančios srovės stipris.

Pradinė ritės energija:

$$W_{m_1} = \frac{LI_1^2}{2}.$$

Galinė ritės energija:

$$W_{m_2} = \frac{LI_2^2}{2}.$$

Pagal sąlygą

$$W_{m_2} - W_{m_1} = 3$$

$$I_2 = 2I_1.$$

Todėl

$$\frac{LI_2^2}{2} - \frac{LI_1^2}{2} = 3,$$

$$\frac{4LI_1^2 - LI_1^2}{2} = 3,$$

$$3LI_1^2 = 6,$$

$$LI_2^2 = 2,$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{2}{L}};$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{2}{0,5}};$$

$$I_l = 2 \text{ A.}$$

$$W_{m_l} = \frac{0,5 \text{ H} \cdot 4 \text{ A}^2}{2} = 1 \text{ J};$$

$$W_{m_l} = 1 \text{ J}.$$

Atsakymas: $I_l = 2 \text{ A}$ ir $W_{m_l} = 1 \text{ J}$.

II turo sprendimams įvertinti, atskirame lape nubraižykite lentelę pagal pridedamą pavyzdį:

ŠIFRAS		Vardenis Pavardenis, Vilties g. 7-7 76381 Šiauliai			
I turas		Surinkta taškų (iš viso):			
ATSAKYMAI, SURINKTI TAŠKAI					
Nr.	I DALIS	Taškai	Nr.	II DALIS	Taškai
1.			1 – 1		
2.			1 – 2		
3.			1 – 3		
4.			1 – 4		
5.			1 – 5		
6.			1 – 6		
7.			1 – 7		
8.			2 – 1		
9.			2 – 2		
10.			2 – 3		
11.			2 – 4		
12.			2 – 5		
13.			3 – 1		
14.			3 – 2		
15.			3 – 3		
16.			3 – 4		
17.			3 – 5		
18.			3 – 6		
19.			3 – 7		
20.			4 – 1		
			4 – 2		
			4 – 3		
			4 – 4		
			4 – 5		
			4 – 6		
			5 – 1		
			5 – 2		
			5 – 3		
			5 – 4		
			5 – 5		
			5 – 6		

II TURO UŽDUOTYS

I DALIS

1. Kiek elektronų yra 0,06 g masės vandens laše? Vandens molekulės masė $3 \cdot 10^{-23}$ g.

A. $2 \cdot 10^{21}$;

B. $2 \cdot 10^{22}$;

C. $2 \cdot 10^{-23}$;

D. $5 \cdot 10^{-22}$.

2. Mažo įkrauto rutulio krūvis $5 \cdot 10^{-10}$ C. Kokiam atstume nuo rutulio elektrinio lauko stipris 18 V/m?

A. 0,50 m;

B. 0,25 m;

C. 4,00 m;

D. 2,00 m.

3. Du vienodi teigiami 10 nC krūviai nutolę vienas nuo kito 1 m atstumu. Koks elektrinio lauko stipris taške, esančiame vienodu 1 m atstumu tiek nuo vieno, tiek nuo kito krūvio? Krūviai patalpinti į terpę, kurios dielektrinė skvarba 2,1.

A. 42,86 V/m;

B. 74,14 V/m;

C. 85,71 V/m;

D. 60,61 V/m.

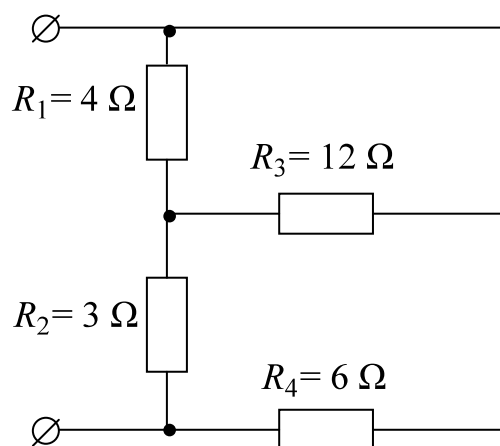
4. Kam lygi elektrinės grandinės varža?

A. 5 Ω ;

B. 6 Ω ;

C. 3 Ω ;

D. 4,5 Ω .



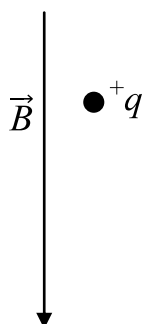
2.19 pav.

5. Tarp plokščiojo orinio kondensatoriaus plokštelių patalpinamas dielektrikas. Kaip pasikeitė kondensatoriaus talpa?
- A. Padidėjo;
 - B. Sumažėjo;
 - C. Nepasikeitė;
 - D. Lygi nuliui.
6. Kaip pasikeis laidininko savitoji varža, jeigu jo ilgį padvigubinsime, o plotą sumažinsime 4 kartus?
- A. Padidės 4 kartus;
 - B. Padidės 8 kartus;
 - C. Nepasikeis;
 - D. Sumažės 8 kartus.
7. Ant elektrolitinės vonios katodo per 20 min nusėdo 0,5 g vario. Vario elektrocheminis ekvivalentas $3,29 \cdot 10^{-7}$ kg/C. Koks srovės stipris tekėjo elektrolitinė vonia?
- A. 2,1 A;
 - B. 1,27 A;
 - C. 0,0127 A;
 - D. 78,9 A.
8. Kokių mažiausiu greičiu turi judėti elektronas, kad jonizuotų vandenilio atomą, kurio jonizacijos potencialų skirtumas lygus 13,5 V?
- A. $1,1 \cdot 10^6$ m/s;
 - B. $3,5 \cdot 10^6$ m/s;
 - C. $2,2 \cdot 10^6$ m/s;
 - D. $3 \cdot 10^6$ m/s.
9. Akumuliatorius, kurio elektrovara 12 V ir vidinė varža 0,2 Ω , maitina išorinę grandinę, kurios varža 12 Ω . Koks šilumos kiekis per 10 min išsiskirs visoje grandinėje?

- A. 0,094 kJ;
- B. 0,47 kJ;
- C. 5,68 kJ;
- D. 85,26 kJ.

10. Magnetiniame lauke, kurio indukcijos vektoriaus kryptis parodyta 2.19 paveiksle, yra nejudantis teigiamas elektros krūvis. Kuria kryptimi magnetinis laukas veikia tą krūvį?

- A. \vec{F} (kryptis į kairę)
- B. \vec{F} (kryptis į dešinę)
- C. \vec{F} (kryptis žemyn)



- D. $\vec{F} = 0$

2.20 pav.

11. 4 Wb/s greičiu ritę kertantis magnetinis srautas sukuria 5 kV elektrovarą. Koks vijų skaičius ritėje?

- A. 3000;
- B. 1250;
- C. 2500;
- D. 1000.

12. 250 mT magnetinės indukcijos lauke esantis 20 cm ilgio laidininkas, kuriuo teka 2 A stiprio srovė, veikiamas 50 mN jėgos. Kokia magnetinio lauko indukcijos vektoriaus kryptis laidininko atžvilgiu?

- A. Sudaro 90° kampą;
- B. Sudaro 45° kampą;
- C. Sudaro 60° kampą;
- D. Sudaro 30° kampą.

13. Elektronas, kurio masė $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, įlekia į vienalytį magnetinį lauką 5 km/s greičiu statmenai indukcijos linijoms ir juda $0,5 \mu\text{m}$ spindulio trajektorija. Kokio dydžio magnetinio lauko magnetinė indukcija veikia elektroną?

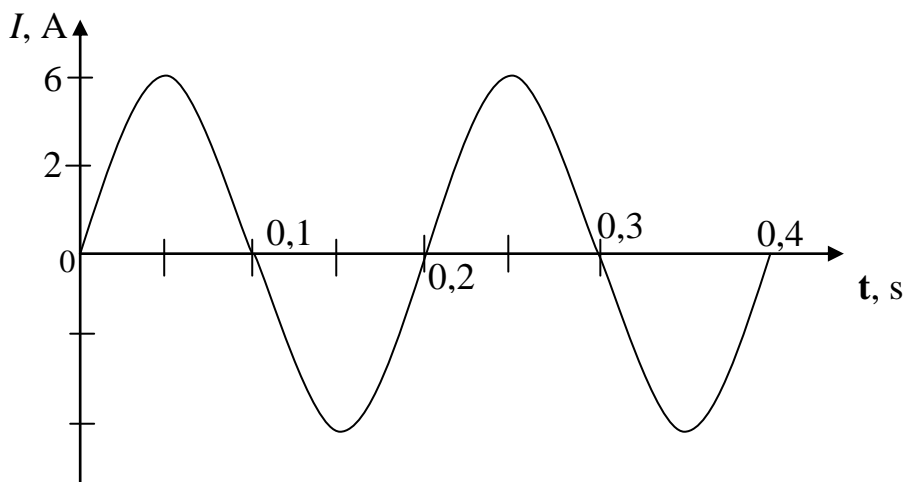
- A. 0,0569 T;
- B. 0,085 T;
- C. 0,5 T;
- D. 5,69 T.

14. Kokio dydžio saviindukcijos elektrovara sužadinama 0,4 H induktyvumo elektromagneto apvijoje, kai 5 A srovės stipris joje per 0,02 s kinta tolygiai?

- A. 50 V;
- B. 200 V;
- C. 100 V;
- D. 20 V.

15. Koks kintamosios elektros srovės dažnis pavaizduotas grafike?

- A. 10 Hz;
- B. 2,5 Hz;
- C. 5 Hz;
- D. 2 Hz.



2.21 pav.

16. Virpesių kontūro induktyvumas ir talpa atitinkamai lygūs 70 mH ir $70 \mu\text{F}$. Koks virpesių dažnis?

- A. 619 Hz;
- B. 499 Hz;
- C. 139 Hz;
- D. 719 Hz.

17. Virpesių kontūro kondensatoriaus didžiausias krūvis $10\ \mu\text{C}$. Srovės stiprio amplitudinė vertė $1\ \text{mA}$. Koks kontūro virpesių periodas? Į srovės nuostolius neatsižvelkite.

A. $628 \cdot 10^{-6}\text{s}$;

B. $62,8 \cdot 10^{-9}\text{s}$;

C. $6,28 \cdot 10^{-3}\text{s}$;

D. $62,8 \cdot 10^{-3}\text{s}$.

18. Rėmeliai, kurių plotas $3000\ \text{cm}^2$, sukasi vienalyčiame magnetiniame lauke, kurio magnetinė indukcija $15\ \text{mT}$. Didžiausia evj (elektrovara) 400 vijų rėmeliuose $3\ \text{V}$. Per kiek laiko rėmeliai apsisuka vieną kartą?

A. $3,77 \cdot 10^{-4}\text{s}$;

B. $3,77\ \text{s}$;

C. $3,77 \cdot 10^{-2}\text{s}$;

D. $3,77 \cdot 10^{-3}\text{s}$;

19. Radijo imtuvo virpesių kontūro kondensatoriaus talpa kinta nuo C_1 iki $C_2 = 9 C_1$. Kokiam bangų ilgių diapazonui apskaičiuotas imtuvo kontūras, jeigu nustačius talpą C_1 priimama $3\ \text{m}$ ilgio banga?

A. Nuo $3\ \text{m}$ iki $9\ \text{m}$;

B. Nuo $1\ \text{m}$ iki $9\ \text{m}$;

C. Nuo $3\ \text{m}$ iki $12\ \text{m}$;

D. Nuo $1\ \text{m}$ iki $6\ \text{m}$.

20. Kintamosios srovės grandinės dalies įtampa laikui bėgant kinta pagal dėsnį $u = U_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$. Laiko momentu $t = \frac{T}{12}$ įtampos vertė yra $10\ \text{V}$. Kokia yra amplitudinė įtampos vertė?

A. $10,4\ \text{V}$;

B. $5\ \text{V}$;

C. $11,5\ \text{V}$;

D. $20\ \text{V}$.

II DALIS

1. Du taškiniai krūviai $7\ \mu\text{C}$ ir $-14\ \mu\text{C}$ yra $5\ \text{cm}$ atstumu vienas nuo kito. Taškas A nutolęs $3\ \text{cm}$ nuo teigiamo krūvio ir $4\ \text{cm}$ nuo neigiamo krūvio.

1.1. Kokia jėga veikia pirmasis krūvis trečiąjį $10\ \text{nC}$ krūvį, esantį taške A?

1.2. Kokia jėga veikia antrasis krūvis trečiąjį $10\ \text{nC}$ krūvį, esantį taške A?

1.3. Pavaizduokite šias jėgas brėžinyje, nubrėžkite šių jėgų atstojamąją.

1.4. Apskaičiuokite trečiąjį krūvį veikiančių jėgų atstojamąją.

1.5. Apskaičiuokite krūvio q_1 sukurtą elektrinio lauko stiprį taške A.

1.6. Raskite krūvio q_2 sukurtą elektrinio lauko stiprį taške A.

1.7. Nustatykite abiejų krūvių sukurtą elektrinio lauko stiprį taške A.

2. Elementas, kurio evj lygi $2,5\ \text{V}$ ir vidinė varža $0,2\ \Omega$, jungikliu sujungtas su reostatu. Voltmetras prijungtas prie šaltinio polių.

2.1. Nubraižykite grandinės schemą.

2.2. Kokia reostato varža, jeigu jo gnybtų įtampa lygi $2,4\ \text{V}$?

2.3. Kokio stiprio srovė teka reostatu?

2.4. Kokio ilgio geležinė viela reikalinga šiam reostatui pagaminti, jeigu vielos plotas $0,75\ \text{mm}^2$?

2.5. Ką rodys voltmetras išjungus jungiklį? Kokį fizikinį dydį išmatuojame?

3. Televizorių kineskopuose elektronų pluoštui nukreipti naudojamas magnetinis laukas. Elektronus skleidžia kineskopo elektronų patranka (prožektorius) $2 \cdot 10^7\ \text{m/s}$ greičiu. Jie nuskrieja $20\ \text{cm}$ horizontalų atstumą iki ekrano ir yra atlenkiami magnetinio lauko $10\ \text{cm}$ atstumu į šoną.

3.1. Per kiek laiko elektronas pasiekia ekraną?

3.2. Kokį pagreitį įgyja elektronai, pagreitinami į šoną $10\ \text{cm}$ atstumu?

3.3. Kokia jėga magnetinis laukas veikia elektroną, kurio masė $9,1 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}$?

3.4. Apskaičiuokite magnetinio lauko indukciją, kuri veikia elektronus.

3.5. Schemiškai pavaizduokite elektrono judėjimo kelią kineskope.

3.6. Kam lygi elektrono energija?

3.7. Koks potencialų skirtumas tarp katodo ir ekrano?

4. Vienalyčiame magnetiniame lauke, kurio magnetinė indukcija 3 T ir sudaro 30° kampą su vertikale, juda tiesus 2 m ilgio ir $2,5 \text{ kg}$ masės laidininkas, kuriuo teka 5 A stiprio elektros srovė. Per 5 s nuo judėjimo pradžios laidininkas įgyja 15 m/s greitį.

4.1. Kam lygi laidininką veikianti Ampero jėga?

4.2. Kokiu pagreičiu juda laidininkas?

4.3. Kiek pasislenka laidininkas per 5 s nuo judėjimo pradžios?

4.4. Kam lygus Ampero jėgos atliktas darbas?

4.5. Kokia Ampero jėgos kryptis? Srovės kryptį laikykite iš kairės į dešinę, o laidininką gulsčiu. Pavaizduokite brėžiniu.

4.6. Kokia indukcinė evj susidaro laidininke, kai laidininkas pasiekia maksimalų greitį?

5. Ritė, kurios induktyvumas 10 mH , prijungta prie 500 Hz kintamosios įtampos šaltinio. Įtampos efektinė vertė 100 V .

5.1. Apskaičiuokite ritės induktyviąją varžą.

5.2. Nustatykite įtampos amplitudinę vertę.

5.3. Apskaičiuokite srovės stiprio grandinėje amplitudę, kai ritės aktyvioji varža lygi 0 .

5.4. Kokios talpos kondensatorių reikia įjungti į tą grandinę, kad įvyktų rezonansas?

5.5. Nustatykite kondensatoriaus varžą.

5.6. Apskaičiuokite visos grandinės varžą rezonanso atveju, kai laidų aktyvioji varža lygi $7,4 \Omega$.



ŠIAULIŲ UNIVERSITETO GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETE

Fizikos katedros kuruojamos programos:

BAKALAURO STUDIJOS

FIZIKA

Kvalifikacinis laipsnis: fizikos bakalauras

Studijų trukmė – 4 metai (160 kreditų)

Studijų forma: dieninė

Studijuojant įgyjamas bazinis fiziko išsilavinimas. Skaitomi bendrosios, teorinės ir eksperimentinės fizikos kursai, daug dėmesio skiriama eksperimentui. Dėstomi keturi matematikos dalykai. Išmokstama dirbti su duomenų bazėmis, įgyjami programavimo ir modeliavimo pagrindai. Programoje numatyta alternatyvių disciplinų. Siūlomi matematikos ir informatikos bei fizikos specialieji kursai iš aktualių šiuolaikinio mokslo sričių. Daug dėmesio skiriama bakalauro darbui.



Karjeros galimybės

- Fizikos bakalaurai galės tęsti studijas šalies ir užsienio magistrantūroje arba, penktaisiais metais išklause 40 kreditų edukologijos programą, įgyti fizikos mokytojo kvalifikaciją.
- Galės pasirinkti II pakopos specialiąsias profesines studijas.
- Turėdami bazinį fiziko išsilavinimą, bakalaurai galės dirbti pramonės įmonėse, mokslo institucijose, modernių technologijų srityje, valstybinėse ir komercinėse struktūrose, kurti arba organizuoti savo verslą.

OPTOMETRIJA

Kvalifikacinis laipsnis: fizikos bakalauras

Profesinė kvalifikacija: optometrininkas

Studijų trukmė – 4 metai (160 kreditų)

Studijų forma: dieninė

Studijuojant įgyjamas bazinis fiziko išsilavinimas ir suteikiama optometrininko profesinė kvalifikacija. Dėstomi bendrosios, teorinės ir eksperimentinės fizikos, regos organų anatomijos, fiziologijos, patologijos, akies optikos, optinių technologijų, regos sistemos neurofiziologijos, akių ligų, regos terapijos ir kt. dalykai. Studentai, pasirinkę šią programą, įgis optometrijos specialistui būtinų žinių iš regos anomalijų, regos korekcijos ir optinių technologijų sričių, darbo su šiuolaikine optometrine įranga įgūdžių. Atliekamos dvi optometrininko praktikos. Daug dėmesio skiriama bakalauro darbui. Programoje numatyta alternatyviai bei laisvai pasirenkamų dalykų.



Karjeros galimybės

- Galės tęsti studijas šalies ir užsienio universitetų magistrantūroje.
- Galės kvalifikuotai dirbti akies ir regos sistemos pirminės priežiūros centruose, valstybinėse ir komercinėse struktūrose (optikos salonuose, optometrijos centruose).
- Galės dirbti kitose švietimo ir mokslo institucijose, modernių technologijų srityje, kurti arba organizuoti savo verslą.

FIZIKA IR INFORMATIKA

Kvalifikacinis laipsnis: fizikos bakalauras

Profesinė kvalifikacija: fizikos ir informatikos mokytojas

Studijų trukmė – 4 metai (160 kreditų)

Studijų forma: dieninė

Studijuojant įgyjamas bazinis fiziko išsilavinimas. Skaitomi bendrosios, teorinės ir eksperimentinės fizikos kursai, daug dėmesio skiriama eksperimentui. Dėstomi septyni informatikos ir keturi aukštosios matematikos dalykai. Be to, išklausomi pedagogikos, psichologijos, fizikos ir informatikos didaktikos kursai, atliekamos dvi praktikos. Programoje numatyta alternatyvių bei laisvai pasirenkamų dalykų.

Karjeros galimybės

- Galės tęsti studijas šalies ir užsienio universitetų magistrantūroje.
- Galės dirbti fizikos ir informatikos mokytojais bei klasės auklėtojais bendrojo ugdymo mokyklose ir gimnazijose, kitose švietimo ir mokslo institucijose, modernių technologijų srityje, valstybinėse ir komercinėse struktūrose, kurti arba organizuoti savo verslą.



MAGISTRO STUDIJOS

FIZIKA

Kvalifikacinis laipsnis: fizikos magistras

Profesinė kvalifikacija: mokytojas

Studijų trukmė – 2 metai (80 kreditų)

Studijų forma: dieninė

Studijuoti pagal šią programą gali asmenys, turintys bakalauro laipsnį ar jį atitinkantį diplomą ir išlausę bendrosios fizikos, aukštosios matematikos, pedagogikos bei fizikos didaktikos kursus. Neklausiusiems pedagogikos bei fizikos didaktikos kursų skiriamos išlyginamosios studijos. Pasirinkę šias studijas magistrantai pagilina ir praplečia šiuolaikinės fizikos ir didaktikos žinias, įgyja praktinių įgūdžių ir nemažą mokslinio darbo patirtį. Akademinės studijos trunka tris semestrus, ketvirtas semestras skiriamas praktikai ir magistro darbo rengimui. Dirbantiems pedagoginį darbą sudaroma galimybė atlikti praktiką savo darbo vietoje. Užsiėmimų grafikas sudaromas taip, kad galima būtų suderinti darbą ir studijas.

Karjeros galimybės

- Galės tęsti studijas šalies ir užsienio universitetų doktorantūroje.
- Galės dirbti mokslo bei pedagoginį darbą bendrojo ugdymo ir aukštosiose mokyklose, kitose švietimo ir mokslo institucijose, valstybinėse bei komercinėse struktūrose.

Šiaulių universitetas

Gamtos mokslų fakultetas

Fizikos katedra

P. Višinskio g. 19, LT-77156 Šiauliai

Tel. (841) 595 721

Faks. (841) 595 794

El. paštas fk@fm.su.lt

<http://www.su.lt>

Lietuvos fizikų draugija
Šiaulių universitetas
Jaunųjų fizikų mokykla „FOTONAS“

Adomas Neimontas, Vacys Jankus
IV kurso užduotys ir metodiniai nurodymai
2009 11 (481)
2009–2010 mokslo metai

Redagavo Algirdas Malakauskas
Rinko ir maketavo Diana Adomaitytė

SL 843. 2008 09 05. 3,62 leidyb. apsk.1. Tiražas 550. Užsakymas
Spausdino UAB „Šiaulių knygriškla“,
P. Lukšio 9A, LT-76207 Šiauliai, tel.: (8 ~ 41) 50 03 33, 43 19 14.