ISSN 1392-2068

LIETUVOS FIZIKŲ DRAUGIJA
ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
JAUNŲJŲ FIZIKŲ MOKYKLA „FOTONAS“

MOLEKULINĖ FIZIKA IR TERMODINAMIKA. ELEKTRA IR MAGNETIZMAS

2010 11(496)

ISSN 1392-2068

LIETUVOS FIZIKŲ DRAUGIJA
ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
JAUNŲJŲ FIZIKŲ MOKYKLA „FOTONAS“

Adomas Neimontas, Vacys Jankus

MOLEKULINĖ FIZIKA IR TERMODINAMIKA. ELEKTRA IR MAGNETIZMAS

IV KURSO UŽDUOTYS IR METODINIAI NURODYMAI

2010 11(496)

Metodinė priemonė
2010–2011 mokslo metai

Šiauliai 2010

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

Leidinį parengė:
I turo metodinius nurodymus ir užduotis – Adomas Neimontas,
II turo metodinius nurodymus ir užduotis – Vacys Jankus.

Recenzavo: doc. Mindaugas Stakvilevičius,
fizikos mokytoja metodininkė Lina Senkuvienė.

Šiaulių universiteto Gamtos mokslų fakulteto tarybos rekomenduota spausdinti 2010-06-17 (protokolas Nr. 7).

© Šiaulių universitetas, 2010

SU NAUJAISIAIS MOKSLO METAIS, FOTONIEČIAI!

Šie mokslo metai jaunųjų fizikų mokykloje „Fotonas“ Jums paskutiniai.

Tikimės, kad spręsdami „Fotono“ uždavinius gerai pasirengsite valstybiniam fizikos baigiamajam egzaminui, suprasite kokias darote klaidas, ką turėtumėte papildomai pasimokyti. Sėkmingas 4 metų mokymasis „Fotono“ mokykloje bus įvertintas mokyklos baigimo diplomu, kurį įteiksime 2011 metų pavasarį.

Kad būtų išvengta 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 – 2010-11-10,
II turas – 2011-01-25.

Sąsiuvinius su sprendimais siųskite adresu:

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

LINKIME SĖKMĖS!
„Fotono“ taryba

Tel./faks. (8 ~ 41) 59 57 24
El. pašto adresas fotonas@fm.su.lt
Interneto puslapis: www.fotonas.su.lt

I TURAS
MOLEKULINĖ FIZIKA IR TERMODINAMIKA

Metodiniai nurodymai

Molekulinėje fizikoje medžiagos kiekis υ išreiškiamas:

$$\upsilon = \frac{m}{M} \qquad (1.1)$$

arba

$$\upsilon = \frac{V}{V_0}; \qquad (1.2)$$

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

Bet kurios medžiagos molekulių skaičius viename molyje yra vienodas ir vadinamas Avogadro skaičiumi $N_A = 6{,}02\cdot10^{23}$ mol^{-1}. Molekulių skaičių N galime rasti tokiu būdu:

$$N = \upsilon N_A = \frac{m}{M}\cdot N_A = \frac{V}{V_0}\cdot N_A. \qquad (1.3)$$

Molio masės M ir santykinę molekulinę masę M_r sieja 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 randamas:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}; \qquad (1.4)$$

čia $k = 1{,}38\cdot10^{-23}$ J/K – Bolcmano konstanta, $R = 8{,}31 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$ – universalioji dujų konstanta, m_0 – vienos molekulės masė.

Pagrindinė dujų molekulių kinetinės teorijos lygtis

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2} = \frac{2}{3} n\bar{E}; \qquad (1.5)$$

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

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT; \qquad (1.6)$$

$\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$.

Dujų slėgio p priklausomybę nuo jų molekulių koncentracijos n ir dujų temperatūros T apibūdina lygtis

$$p = nkT. \quad (1.7)$$

Absoliutinės ir Celsijaus skalės ryšys:

$$T = t + 273\ °C.$$

Idealiųjų dujų būsenos (Mendelejevo ir Klapeirono) lygtis:

$$pV = \frac{m}{M} RT; \quad (1.8)$$

čia p – slėgis, V – tūris, T – absoliutinė temperatūra, m – dujų masė, M – dujų molio masė, R = 8,31 J/(mol·K) – universalioji dujų konstanta.

Dujų būsenos kitimą pastovioje temperatūroje nusako Boilio ir Marioto dėsnis:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}, \quad (1.9)$$

kai T = const, kai masė m nekinta.

Procesas, kai T = const, vadinamas ***izoterminiu***.

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

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (1.10)$$

kai p = const, kai masė m nekinta.

Procesas, kai p = const, vadinamas ***izobariniu***.

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

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (1.11)$$

kai V = const, kai masė nekinta.

Procesas, kai V = const, vadinamas ***izochoriniu***.

Klapeirono lygtis:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}. \quad (1.12)$$

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

$$p = p_1 + p_2 + ... + p_n\ ; \quad (1.13)$$

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

Kūnams mažai deformuojantis ***įtempimas*** (įtampa) yra tiesiog proporcingas santykiniam pailgėjimui:

$$\sigma = E|\varepsilon|; \quad (1.14)$$

čia σ – įtempimas, E – tamprumo (Jungo) modulis, $\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0}$ – santykinis pailgėjimas, $\Delta\ell = \ell - \ell_0$ – absoliutinis pailgėjimas.

$$\sigma = \frac{F}{S}; \qquad (1.15)$$

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

Tamprumo jėga F proporcinga absoliutiniam pailgėjimui:

$$F = \frac{SE}{\ell_0}\Delta\ell;$$

$$F = k \cdot \Delta\ell\,; \qquad (1.16)$$

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:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}. \qquad (1.17)$$

Idealiųjų vienatomių dujų vidinė energija apskaičiuojama pagal formulę:

$$U = \frac{3m}{2M}RT. \qquad (1.18)$$

Esant pastoviam tūriui vidinės energijos pokytis:

$$\Delta U = C_v \frac{m}{M}\Delta T\,;$$

čia C_v – molinė šiluma.

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

I termodinamikos dėsnis:

$$\Delta U = A' + Q \qquad (1.19)$$

arba

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

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

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

$$Q = cm(t_2 - t_1) = \Delta U\,, \qquad (1.20)$$

$$\Delta U = C\,\Delta T\,; \qquad (1.21)$$

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

Kūno šilumine talpa C vadiname jo masės ir savitosios šilumos sandaugą:

$$C = c\,m\,.$$

Norint m masės skystį išgarinti, reikia šilumos kiekio:

$$Q = r\,m\,; \qquad (1.22)$$

čia r – savitoji garavimo šiluma.

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

$$Q = \lambda\, m\,; \qquad (1.23)$$

čia λ – savitoji lydymosi šiluma.

Sudegant m masės kurui išsiskiria šilumos kiekis:

$$Q = q\, m\,; \qquad (1.24)$$

čia q – kuro degimo šiluma.

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

$$\sum Q_{\text{atid}} = \sum Q_{\text{gaut}} \qquad (1.25)$$

arba

$$Q_1 + Q_2 + \ldots = Q_3 + Q_4 + \ldots \qquad (1.26)$$

Įvairiems idealiųjų dujų procesams I termodinamikos dėsnis užrašomas šitaip:

izoterminiam $Q = A$; (1.27)

izobariniam $Q = \Delta U + A$; (1.28)

izochoriniam $Q = \Delta U$; (1.29)

adiabatiniam $Q = 0$, $A = -\Delta U$. (1.30)

Darbas termodinamikoje apskaičiuojamas pagal formulę:

$$A = p\,\Delta V\,; \qquad (1.31)$$

čia p – dujų slėgis, ΔV – tūrio pokytis.

Realaus šiluminio variklio naudingumo koeficientas randamas pagal formulę:

$$\eta = \frac{Q_{\text{n}}}{Q_{\text{v}}} \cdot 100\%, \qquad (1.32)$$

$$Q_{\text{n}} = Q_1 - Q_2 = A,$$

$$Q_{\text{v}} = Q_1\,;$$

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 randamas pagal formulę:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%; \qquad (1.33)$$

čia T_1 – šildytuvo temperatūra, T_2 – aušintuvo temperatūra.

Santykinė oro drėgmė (drėgnis):

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% \text{ arba } \varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%; \qquad (1.34)$$

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

Uždavinių sprendimų pavyzdžiai

1 pavyzdys

Kuriomis kryptimis uždarame inde slegia dujos?

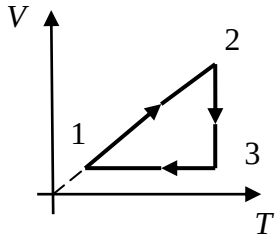
1. Į indo šonines sieneles;
2. Į indo dugną;
3. Į indo šonus ir dugną;
4. Visomis kryptimis.

Prisiminkime Paskalio dėsnį, kad dujų ir skysčių slėgis visomis kryptimis perduodamas vienodai, todėl pasirenkame variantą: visomis kryptimis.

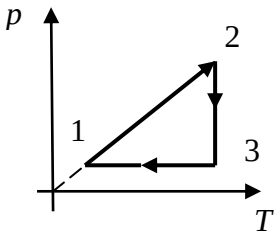
Atsakymas: 4.

2 pavyzdys

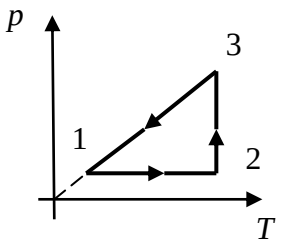
Nubrėžtas idealiųjų dujų būsenos kitimo koordinatėse V – T grafikas (1.1 pav.). Kuris grafikas a, b, c, d atitinka šiuos procesus koordinatėse p – T?



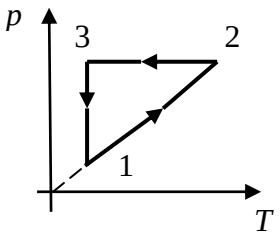
1.1 pav.



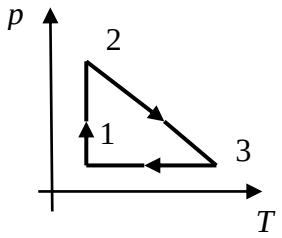
a.



b.



c.



d.

Remdamiesi Klapeirono lygtimi

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2},$$

pirmiausia išsiaiškiname, kokie procesai 1.1 pav. pavaizduoti ašyse V – T:

- 1 – 2 izobarinis procesas (grafikas izobarė). p = const (slėgis pastovus). Kintant tūriui kinta ir temperatūra. V/T = const. Temperatūrai didėjant didėja ir tūris.
- 2 – 3 izoterminis procesas (grafikas izotermė). T = const (temperatūra pastovi). Kintant slėgiui kinta tūris pV = const. Tūris mažėja, slėgis didėja.
- 3 – 1 izochorinis procesas (grafikas izochorė). V = const (pastovus tūris). Kintant temperatūrai kinta slėgis. p/T = const. Temperatūra mažėja, mažėja ir slėgis.

Randame tuos pačius kitimus pavaizduotuose grafikuose.

<u>b grafike:</u>

1 – 2 izobarinis procesas. Temperatūra didėja kaip ir grafike V – T.

2 – 3 izoterminis procesas. Temperatūra pastovi, slėgis didėja.

3 – 1 izochorinis procesas. Tūris pastovus. Temperatūra mažėja, mažėja ir slėgis. Pasirenkame variantą b.

<u>Atsakymas:</u> b.

3 pavyzdys

Remdamiesi 1-oje lentelėje pateiktais psichrometro termometrų rodmenimis nustatykite, kaip kito santykinė oro drėgmė daržovių saugykloje.

1 lentelė

Savaitės dienos	Termometrų rodmenys (°C)	
	Sauso	Drėgno
Pirmadienis	20	18
Antradienis	20	17
Trečiadienis	20	16

1. Mažėjo;
2. Nekito;
3. Didėjo;
4. Be psichrometrinės lentelės neįmanoma atsakyti!

Nemaža dalis mokinių nesupranta, kaip vandens garavimo intensyvumas priklauso nuo aplinkos sąlygų – kuo didesnė aplinkos drėgmė, tuo lėčiau garuoja vanduo, tuo mažiau reikia energijos, tuo mažesnis termometrų rodmenų skirtumas. Arba atsakinėjama neįsigilinus į esmę – didesnis rodmenų skirtumas reiškia, kad garuoja

intensyviau, tai ir drėgmė turi didėti, bet neatsižvelgta, kad nuo drėgnojo termometro išgaruojantis į aplinką vanduo aplinkos drėgmės praktiškai nepakeičia!
Atsakymas: 1.

Paanalizuokime kartu bene patį „kiečiausią“ kompleksinį uždavinį (4 pavyzdys), kurio ketvirta užduotis (4.4) yra ypač verta dėmesio.

4 pavyzdys

Oro burbuliuko, kuris yra prie ežero dugno, tūris padidėja 3 kartus, kai jis pakyla į vandens paviršių. Temperatūra prie dugno yra 7 °C, o vandens paviršiuje 17 °C. Atmosferos slėgis yra $1 \cdot 10^5$ Pa, vandens tankis 1000 kg/m^3, laisvojo kritimo pagreitis 10 m/s^2.

1. Išreikškite kelvinais temperatūrą prie ežero dugno.
2. Kodėl oro burbuliukas kyla į paviršių?
3. Kiek kartų oro slėgis burbuliuke prie ežero dugno didesnis negu paviršiuje?
4. KOKIO GYLIO EŽERAS?
5. Ar oro burbuliuke yra vandens garų? (!)
6. Ką vadiname sočiaisiais garais?

Tau šį uždavinį išspręsti – vieni juokai, tiesa? Įsitikinkime, ar abu esame teisūs.

1. Čia pakanka prisiminti (ar egzamino metu žvilgterėti į pateiktą formulyną) ryšį:

$$T = (273 + t).$$

Tad

$$T = (273 + 7)\ \text{K} = 280\ \text{K}.$$

Atsakymas: 280 K.

2. Čia nepakanka atsakyti: „Oro burbuliuką veikia Archimedo jėga“.

Atsakymas: oro burbuliukas kyla dėl to, kad jį veikianti Archimedo jėga yra didesnė už jo sunkio jėgą (sunkį).

3. Tai optimalaus sunkumo užduotis (ją teisingai atlieka tik dalis abiturientų). Paanalizuokime kartu.

Aišku, kad teks naudotis Klapeirono lygtimi:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2},$$

iš kur išreiškiame ieškomą santykį:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2\ T_1}{V_1\ T_2}.$$

Atliekame „juodąjį“ darbą:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{3 \cdot 280}{290} \approx 2{,}9$$

Gerbiamas moksleivi, dar kartą prisimink, ką reiškia dydžiai p_1, p_2, V_1, V_2, T_1 ir T_2. Aš pateikiau trumpą sprendimo analizę, palikdamas Tau veikimo laisvę.

Atsakymas: oro slėgis burbuliuke prie ežero dugno apie 2,9 karto didesnis nei paviršiuje.

4. Tad – prie sunkiausios užduoties!

Oro slėgis paviršiuje lygus atmosferos slėgiui:

$$p_2 = p_{atm}.$$

Oro slėgis burbuliuke prie dugno:

$$p_1 = p_2 + \rho g h = p_{atm} + \rho g h.$$

Jau įrodėme, kad

$$p_1 = 2{,}9\, p_2,$$

tad, „susitvarkę“ su pateiktomis lygtimis, turime:

$$h = \frac{1{,}9\, p_2}{\rho\, g},$$

h = 19 m.

Atsakymas: h = 19 m.

5. Šia užduotimi nenorima sumenkinti mokinio, anaiptol. Malonu, kad Tu pataikei tiksliai „į dešimtuką“.

Atsakymas: oro burbuliuke tikrai yra vandens garų!

6. Čia siūlau neskubėti prie atsakymo paskelbimo, o giliai pamąstyti, kuo skiriasi nesotieji skysčio garai nuo sočiųjų, kokios pastarųjų savybės, kas yra krizinė temperatūra, kas yra santykinė oro drėgmė (!) ir pan. Tik tuomet eik prie tikslo.

Atsakymas: garai, esantys dinaminėje pusiausvyroje su skysčiu, vadinami sočiaisiais garais.

Na ir kaip jautiesi? Aš buvau teisus, kažkada teigdamas, jog „ne šventieji puodus lipdo“? Viliuosi, kad Tu, kritiškai ir savarankiškai atlikęs šio turo užduotis, pajausi sielos ramybę, ko ir linkiu. Juolab, kad mano šiam turui pateikiamos užduotys bus ypač panašios į Tavo analizuotas pamokose ar dirbant savarankiškai.

5 pavyzdys

Uždarame inde yra 10 g ozono. Avogadro skaičius $6{,}02 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}, Bolcmano konstanta $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K.

1. Apskaičiuokite ozono molekulės molio masę.
2. Kiek ozono molekulių yra inde?
3. Koks ozono slėgis inde, jei temperatūra 20 °C, jo molekulių koncentracija $1{,}5 \cdot 10^{25}$ m^{-3} ?
4. Kur daugiausia aptinkama ozono? Kas jį naikina?

5. Apskaičiuokite ozono molekulės masę.
6. Nustatykite indo, kuriame laikomas ozonas, tūrį.

1. Deguonies atomo molio masė lygi

$$M_0 = 16\cdot10^{-3}\ \text{kg/mol}.$$

Kadangi ozono molekulę sudaro trys deguonies atomai (O_3), tai jo molio masė

$$M_{O_3} = 3\cdot16\cdot10^{-3}\ \text{kg/mol} = 48\cdot10^{-3}\ \text{kg/mol}.$$

<u>Atsakymas:</u> $M_{O_3} = 48\cdot10^{-3}$ kg/mol.

2. Molekulių skaičių inde randame pagal formulę

$$N = \frac{m}{M} N_A,$$

$$N = \frac{10\cdot10^{-3}\ kg\cdot6\cdot10^{23}\ \frac{1}{mol}}{48\cdot10^{-3}\ \frac{kg}{mol}} = \frac{60\cdot10^{23}}{48} = 125\cdot10^{21}.$$

<u>Atsakymas:</u> $N = 1{,}25\cdot10^{23}$.

3. Slėgis

$$p = nkT.$$

Absoliutinę ir Celsijaus temperatūras sieja ryšys

$$T = t + 273,$$

$T = 293$ K.

$p = 1{,}5\cdot10^{25}\ \text{m}^{-3}\cdot1{,}38\cdot10^{-23}\ \frac{\text{J}}{\text{K}}\cdot293\ \text{K} = 60651$ Pa.

<u>Atsakymas:</u> $p \approx 60{,}65$ kPa.

4. Daugiausia ozono molekulių aptinkama viršutiniuose atmosferos sluoksniuose. Ozono labai daug sudeginama raketų paleidimo metu (kosminiai skrydžiai), daug sunaikina aerozoliai.

5. Molekulės masę galima rasti žinant formulę

$$M = m_0 N_A.$$

$$m_0 = \frac{M}{N_A},$$

$$m_0 = \frac{48\cdot10^{-3}\ \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{6\cdot10^{23}\ \text{mol}^{-1}} = 8\cdot10^{-26}\ \text{kg}.$$

<u>Atsakymas:</u> $m_0 = 8\cdot10^{-26}$ kg.

6. Žinome, kad molekulių koncentracija – tai molekulių skaičius tūrio vienete

$$n = \frac{N}{V}.$$

Iš čia

$$V = \frac{N}{n},$$

$$V = \frac{125\cdot10^{21}}{1{,}5\cdot10^{25}\ \text{m}^{-3}} = 8{,}33\cdot10^{-3}\ \text{m}^3.$$

Atsakymas: $V = 8{,}33 \cdot 10^{-3}$ m^3.

6 pavyzdys

10 g masės angliarūgštės dujos įkaitinamos palaikant pastovų slėgį nuo 20 °C iki 30 °C. Raskite dujų plėtimosi darbą ir jų vidinės energijos pokytį. Šių dujų molio masė 0,044 kg/mol, R = 8,31 J/(mol·K).

A	m = 0,01 kg
ΔU	T_1 = 293 K
	T_2 = 303 K
	M = 0,044 kg/mol
	R = 8,31 J/(mol·K)
	c = 830 J/(kg·K)

Angliarūgštės dujų vidinės energijos pokytį, kol jos įšyla nuo T_1 iki T_2, randame:

$$\Delta U = cm(T_2 - T_1);$$

ΔU = 830 J/(kg·K) · 0,01 kg (303 K – 293 K) = 83 J.

Dujų plėtimosi darbas:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV . \qquad (1)$$

Pagal uždavinio sąlygą angliarūgštės dujų slėgis p = const, o pastovų dydį galime iškelti prieš integralo ženklą. Todėl iš (1) formulės:

$$A = p \int_{V_1}^{V_2} dV = p(V_2 - V_1) . \qquad (2)$$

Iš Mendelejevo ir Klapeirono lygties

$$pV = \frac{m}{M} RT.$$

Išreiškiame dujų tūrį:

$$V = \frac{mRT}{Mp} .$$

Taigi šių dujų tūris temperatūrose T_1 ir T_2 lygus:

$$V_1 = \frac{mRT_1}{Mp} \quad \text{ir} \quad V_2 = \frac{mRT_2}{Mp} . \qquad (3)$$

(3) išraiškas įrašome į (1):

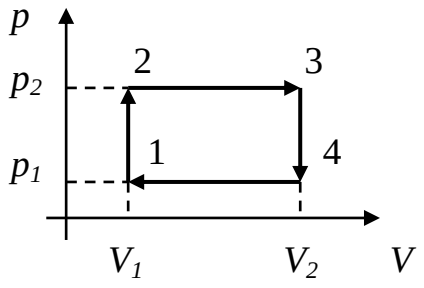
$$A = p\left(\frac{mRT_2}{Mp} - \frac{mRT_1}{Mp}\right) = \frac{mR}{M}(T_2 - T_1) .$$

$$A = \frac{10^{-2}\ \text{kg} \cdot 8{,}31\ \text{J/(mol·K)}}{0{,}044\ \text{kg/mol}} (303\ \text{K} - 293\ \text{K}) \approx 18{,}9\ \text{J}.$$

Atsakymas: ΔU = 83 J, $A \approx$ 18,9 J.

7 pavyzdys

Raskite šiluminės mašinos darbą per vieną ciklą, pavaizduotą 1.2 paveiksle.



1.2 pav.

Dujų plėtimosi darbas grafiškai vaizduojamas figūros, kurią riboja grafikas $p = p(V)$, abscisių ašis, pradinio ir galinio grafiko taškų koordinatės, plotu. Grafiko ruožuose 1 – 2 ir 3 – 4 darbas lygus nuliui, nes tuose ruožuose dujų tūris nekinta ($A = p \cdot \Delta V$). Mašinos darbas per vieną ciklą grafiškai vaizduojamas stačiakampių $V_1 23 V_2$ ir $V_1 14 V_2$ plotų skirtumu, t. y. stačiakampio 1234 plotu. Kaip matome brėžinyje, tas plotas

$$A = p_2 (V_2 - V_1) - p_1 (V_2 - V_1) = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1).$$

Atsakymas: $A = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1)$.

8 pavyzdys

Šiluminės mašinos šildymo temperatūra 227 °C, o aušintuvo temperatūra 27 °C. Apskaičiuokite didžiausią šios mašinos naudingumo koeficientą. Kokia ir kodėl tai galėtų būti šiluminė mašina?

	T_1 = 500 K
η_{max}	T_2 = 300 K

Šiluminės mašinos didžiausias naudingumo koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę

$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1};$$

$$\eta_{max} = \frac{500\ \text{K} - 300\ \text{K}}{500\ \text{K}} = 0{,}4.$$

Veikiausiai, tai galėtų būti garo turbina, nes jų naudingumo koeficientai retai tesiekia 40 %, o kitų gali priartėti netgi prie 55 %.

Atsakymas: $\eta_{max} = 0{,}4$. Garo turbina.

I TURO UŽDUOTYS

1. Kiek molekulių yra azoto pripildytame V = 11,2 litro talpos inde, kai slėgis $2 \cdot 10^5$ Pa ir temperatūra 0 ˚C? Reikiamas konstantas imkite iš jums prieinamų šaltinių. Manau, kad čia jums gali prireikti Avogadro skaičiaus N_A ir universaliosios dujų konstantos R. Gal dar ko?

2. Dviejuose induose, kurių tūriai V_1 = 2 ℓ ir V_2 = 4 ℓ, yra oro. Slėgis pirmame inde $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Pa, antrame $p_2 = 2 \cdot 10^5$ Pa. Koks nusistovės slėgis sujungus indus, kai temperatūra abiejuose induose vienoda? Rekomenduočiau uždavinį spręsti tokiu metodu, kad jums neprireiktų jokių žinynų ar interneto paslaugų.

3. Balione yra dujų, kurių temperatūra t_1 = 15 °C. Kiek kartų n sumažės dujų slėgis, jei 40 % dujų išleisime iš baliono, o temperatūra sumažės iki t_2 = 7 °C? Šiam uždaviniui išspręsti jums pakaks tik geros nuotaikos. Tad pirmyn!

4. Koks yra dujų molekulių vidutinis kvadratinis greitis, jeigu dujų masė m = 6 kg, tūris $V = 4{,}9$ m^3, slėgis $p = 2 \cdot 10^5$ Pa?

5. Apskaičiuokite darbą, kurį atlieka 4 mol idealių dujų, izobariškai pakaitintų ΔT = 50 K? R = 8,31 J/(mol·K).

6. Izotermiškai išsiplėtusių dujų tūris padidėja ΔV_1 = 1 ℓ, o slėgis sumažėja 20 %. Kiek procentų sumažėtų slėgis, tūriui padidėjus ΔV_2 = 2 ℓ?

7. Cilindre po stūmokliu izotermiškai spaudžiami 9 g vandens garų 30 °C temperatūroje. Kokiam tūriui esant prasidės kondensacija? Vandens molio masė M = 0,018 kg/mol, universalioji dujų konstanta R = 8,31 J/(mol·K), sočiųjų vandens garų slėgis 30 °C temperatūroje $p = 4{,}24 \cdot 10^3$ Pa.

Primenu: kondensacija prasideda, kai garai tampa sočiaisiais garais.

8. Turime du skirtingos temperatūros nesugraduotus skysčio termometrus. Kaip nustatyti, kuris iš jų šiltesnis? Panagrinėkite atvejus, kai abu termometrai vienodi ir kai skirtingi.

9. Inde yra 0 °C temperatūros azoto dujų, kurių molio masė 0,028 kg/mol. Apskaičiuokite šių dujų molekulių vidutinį kvadratinį greitį. Bolcmano konstanta k = $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K, Avagadro skaičius $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}. Jei dar ko pasigestumėte, paieškokite ir rasite.

10. Apskaičiuokite, kiek šilumos reikia, norint 5 kg vario, kurio temperatūra 286 K, sušildyti iki 1356 K ir išlydyti. Atmosferos slėgis normalus, vario savitoji šiluma 380 J/(kg·K), jo savitoji lydymosi šiluma 180000 J/kg, vario lydymosi temperatūra, esant normaliam atmosferos slėgiui – 1083 °C.

11. Reaktyvinio lėktuvo variklis 100 km kelyje sudegina 2040 kg benzino. Kai jo galia siekia 44000 kW, lėktuvas įgyja 900 km/h greitį. Raskite: a) šilumos kiekį, išsiskiriantį sudegant 2040 kg benzino, jei jo degimo šiluma 46000000 J/kg; b) reaktyvinio variklio naudingumo koeficientą η.

12. Sudegindama 0,4 kg dyzelinių degalų, garo turbina pagamina 1 kWh energijos. Į turbiną patenkančių garų temperatūra 300 °C, aušintuvo temperatūra 35 °C. Apskaičiuokite: a) garo turbinos naudingumo koeficientą η_1; b) tobulos šiluminės mašinos, veikiančios tokiomis pat sąlygomis, naudingumo koeficientą η_2.

13. Uždarame inde t_1 = 5 °C temperatūroje santykinė oro drėgmė φ_1 = 84 %, o t_2 = 22 °C temperatūroje φ_2 = 30 %. Kiek kartų sočiųjų vandens garų slėgis t_2 temperatūroje didesnis už slėgį t_1 temperatūroje? Galite daryti prielaidą, jog sotieji ar nesotieji bet kokios temperatūros garai „prilygsta“ idealiosioms dujoms, o pastarosioms tinka jums žinomi dujų dėsniai, pvz., Šarlio dėsnis.

14. D = 2 cm skersmens plieninis strypas spaudžiamas F = 314000 N jėga. Jungo modulis $2 \cdot 10^{11}$ Pa. Kokia santykinė strypo deformacija ε?

15. Apskaičiuokite, kiek šilumos reikia m = 0,01 kg masės T = 273 K temperatūros ledo paversti T_g = 373 K temperatūros garais ir paaiškinkite ledo, vandens ir garų temperatūros priklausomybę nuo suteikto šilumos kiekio. Savitoji ledo lydymosi šiluma λ = 333000 J/kg, vandens savitoji šiluma c = 4186 J/(kg·K), vandens garavimo savitoji šiluma L = 2260000 J/kg.

16. Stabdomo automobilio masė m = 10 t, o greitis prieš stabdymą v = 60 km/h. Kiek šilumos jis perduoda aplinkai, kol sustoja?

17. m_1 = 8 kg masės vandens temperatūrai pakelti ΔT = 90 K šildytuve suvartojama m_2 = 214 g žibalo, kurio degimo šiluma q = 45000000 J/kg. Koks šildytuvo naudingumo koeficientas η?

18. Kodėl nenukrinta debesys?

19. Idealiosiomis dujomis užpildomi du uždari, sujungti trumpu vamzdeliu indai, kurių tūriai 6 ℓ ir 8 ℓ. Pradžioje sistemos temperatūra buvo 20 °C, o dujų slėgis – 140000 Pa. Po to pirmasis indas, jo neatjungus nuo antrojo, perkeliamas į terpę, kurios temperatūra 27 °C, o antrasis į terpę, kurios temperatūra 47 °C. Koks dujų slėgis nusistovės inde? Reliatyvistinio masės pokyčio dėl greičio pokyčio nepaisyti.

20. Kokiu būdu efektyviau padidinamas idealiosios šiluminės mašinos naudingumo koeficientas – padidinant šildytuvo temperatūrą ar tiek pat pamažinant šaldytuvo temperatūrą?

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.

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

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

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

čia F – sąveikos jėga,

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

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0};$$

čia ε_0 – elektrinė konstanta, $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot 10^{-12}\ \frac{\text{C}^2}{\text{N}\cdot\text{m}^2}$.

Elektrinio lauko stipris

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

čia E – elektrinio lauko stipris, matuojamas N/C arba V/m, F – jėga, veikianti taškinį krūvį, q – taškinis krūvis. Krūvio matavimo vienetas C – kulonas.

Taškinio krūvio q lauko stipris:

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

čia r – atstumas nuo krūvio iki tiriamojo lauko taško.

Aplinkos dielektrinė skvarba:

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

čia E – elektrinio lauko stiprio modulis vienalyčio dielektriko viduje, E_0 – elektrinio lauko stiprio modulis vakuume.

Elektrinio lauko stipris dielektrike nusakomas formule:

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

Kulono dėsnis dielektrike:

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

Taškinio krūvio q sukurto elektrostatinio lauko potencialas, kai laukas nėra vienalytis, skaičiuojamas pagal formulę:

$$\varphi = k\frac{q}{\varepsilon r}; \qquad (2.7)$$

čia – r atstumas nuo krūvio iki to lauko taško, kurio potencialo ieškome. Potencialo matavimo vienetas voltas (V).

Potencialų skirtumas (įtampa) lygus:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}; \qquad (2.8)$$

čia U – įtampa, A – darbas, kuris atliekamas perkeliant krūvį iš pradinio taško į galinį, q – krūvis, φ_1 ir φ_2 – pirmo ir antro taškų potencialai.

Potencialų skirtumo matavimo vienetas voltas (V):

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

Elektrinio lauko potencinė energija:

$$E_\text{p} = qEd; \qquad (2.9)$$

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

Elektrinio lauko stiprio ir potencialų skirtumo (įtampos) ryšys:

$$E = \frac{U}{d}; \qquad (2.10)$$

čia U – įtampa, E – elektrinio lauko stipris, d – atstumas tarp taškų lauko E kryptimi.

Elektrinė talpa:

$$C = \frac{q}{U}; \qquad (2.11)$$

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

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

Daliniai vienetai:

mikrofaradas 1 μF = 10^{-6} F,

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

Plokščiojo kondensatoriaus talpa:

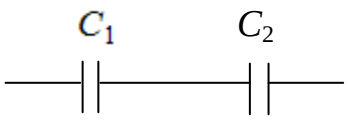
$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}; \qquad (2.12)$$

čia ε – dielektrinė skvarba, ε_0 – elektrinė konstanta, S – vienos plokštės plotas, d – atstumas tarp plokščių.

Įkrauto kondensatoriaus energija apskaičiuojama pagal formules:

$$E_p = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}. \qquad (2.13)$$

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

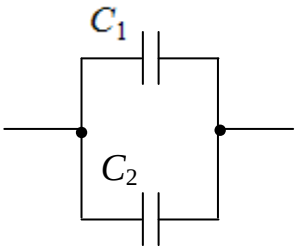


2.1a pav.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \qquad (2.14)$$

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

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



2.1b pav.

$$C = C_1 + C_2. \qquad (2.15)$$

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:

$$I = \frac{q}{t}; \qquad (2.16)$$

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:

$$I = \frac{U}{R}. \qquad (2.17)$$

Iš čia galime rasti

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

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

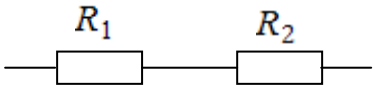
$$1\Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}}.$$

$$R = \rho\,\frac{\ell}{S}; \qquad (2.18)$$

čia ρ – savitoji laidininko varža, matuojama Ω · m, ℓ – laidininko ilgis, S – laidininko skerspjūvio 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.)



2.2 pav.

Pilnutinė varža:

$$R = R_1 + R_2. \qquad (2.19)$$

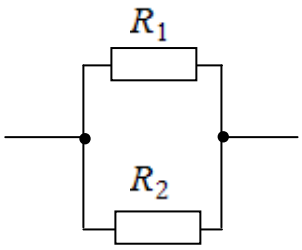
Srovės stipris:

$$I_1 = I_2 = I. \qquad (2.20)$$

Įtampa:

$$U = U_1 + U_2. \qquad (2.21)$$

Lygiagretusis laidininkų jungimas (2.3 pav.)



2.3 pav.

Pilnutinė varža: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$ (2.22)

Srovės stipris: $I = I_1 + I_2.$ (2.23)

Įtampa: $U_1 = U_2 = U.$ (2.24)

Elektros srovės darbas:

$$A = UIt; \qquad (2.25)$$

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

Darbo matavimo vienetas:

1J = 1 V · 1 A · 1 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)**:

$$Q = I^2 Rt. \qquad (2.26)$$

Elektros srovės galia:

$$P = UI, \qquad (2.27)$$

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 uždarame kontūre lygi pašalinių jėgų (t. y., srovės šaltinio) darbo, atliekamo perkeliant krūvį kontūru, ir to krūvio santykiui:

$$\varepsilon = \frac{A_{paš}}{q}; \qquad (2.28)$$

čia ε – elektrovaros jėga (evj), matuojama voltais (V), $A_{paš}$ – pašalinių jėgų darbas (J), q – krūvis (C).

Omo dėsnis visai grandinei:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}; \qquad (2.29)$$

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 srovės tekėjimo laikui Δt.

$$m = kI\Delta t; \qquad (2.30)$$

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

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

$$k = \frac{1}{F}\frac{M}{n}; \qquad (2.31)$$

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, $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$, $F = 9{,}648 \cdot 10^4$ C/mol.

Paviršinis krūvio tankis

$$j = \frac{I}{S}, \qquad (2.32)$$

čia j – paviršinis krūvio tankis, I – srovės stipris, S – paviršiaus plotas.

Veikiant dujas jonizatoriumi (kaitinant, švitinant ultravioletiniais, rentgeno, radioaktyviaisiais 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:

$$\frac{mv^2}{2} = eE\ell\,. \qquad (2.33)$$

Magnetinis laukas

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

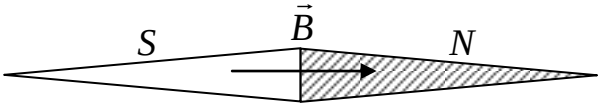
Magnetinio lauko linijomis vadiname tokias linijas, kurių liestinės kiekviename taške sutampa su vektoriaus $\vec{B}$ kryptimi tame taške (2.4 pav.).

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.

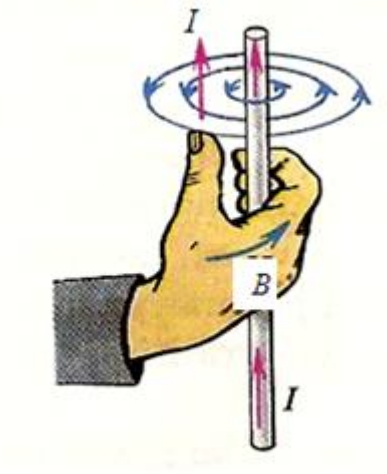
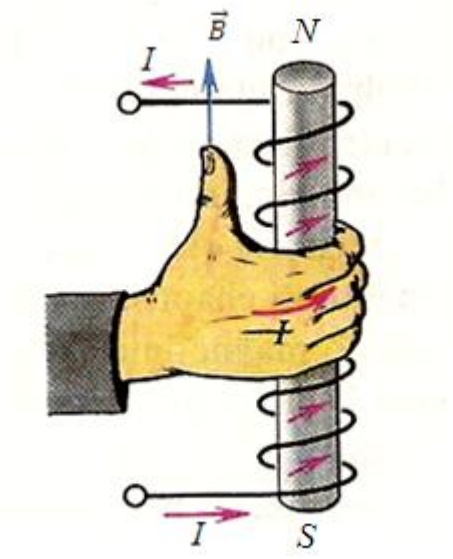
Magnetinės indukcijos vektoriaus kryptimi magnetinėje rodyklėje laikoma kryptis iš pietinio poliaus S į šiaurinį polių N, kai rodyklė laisvai nusistovi magnetiniame lauke (2.5 pav.).



2.5 pav.

Jei magnetinį lauką sukuria elektros srovė, tai magnetinės indukcijos vektoriaus $\vec{B}$ kryptį galima nustatyti ir be magnetinės rodyklės, t. y. remiantis **dešiniosios 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 polių) (2.6 pav.).

Dešiniosios rankos taisyklė tiesaus laidininko su srove magnetiniam laukui. 	**Dešiniosios rankos taisyklė apskritiminės srovės, arba solenoido, magnetiniam laukui.** 

2.6 pav.

Magnetinės indukcijos moduliu 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:

$$B = \frac{F_m}{I \cdot \ell}. \qquad (2.34)$$

Uždarą kontūrą veikiančio magnetinio lauko magnetinės indukcijos formulė:

$$B = \frac{M}{I \cdot S}; \qquad (2.35)$$

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

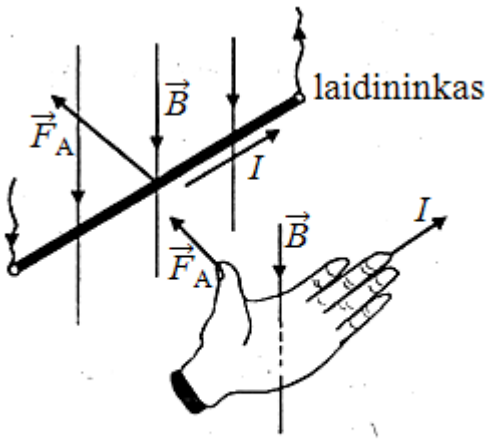
Magnetinės indukcijos matavimo (SI) vienetas yra tesla T:

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

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:

$$F = BI\ell \sin \alpha. \qquad (2.36)$$

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.

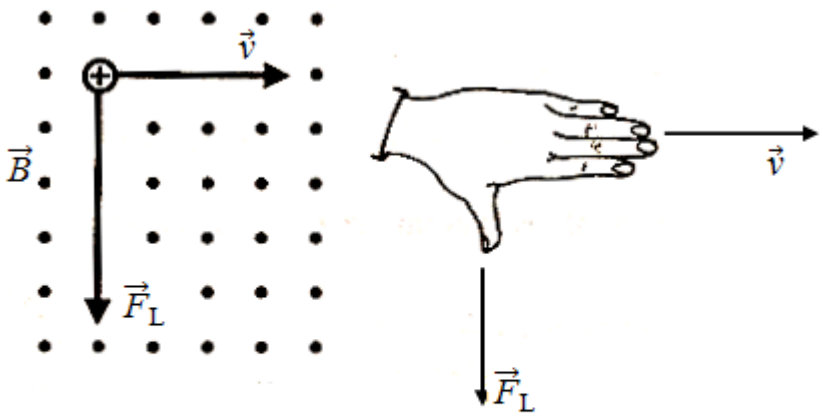
Jėga, kuria magnetinis laukas veikia judančią elektringąją dalelę, vadinama **Lorenco jėga**:

$$F_L = qvB\sin\alpha; \qquad (2.37)$$

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 (2.8 pav.).



Magnetinės indukcijos linijos nukreiptos į mus

2.8 pav.

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

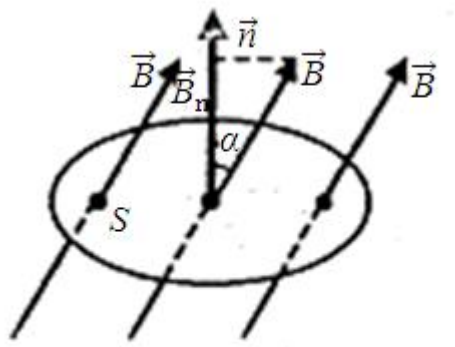
$$r = \frac{mv}{qB}; \qquad (2.38)$$

čia m – dalelės masė, v – dalelės greitis, q – dalelės krūvis, B – magnetinio lauko indukcija.

Magnetinė skvarba:

$$\mu = \frac{B}{B_0}; \qquad (2.39)$$

čia B – magnetinės indukcijos vektorius vienalytėje terpėje (aplinkoje), B_0 – magnetinės indukcijos vektorius vakuume.



2.9 pav.

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) (2.9 pav.) kosinuso:

$$\Phi = BS\cos\alpha. \qquad (2.40)$$

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

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 uždarame laidininke, kintant jį veriančiam magnetiniam srautui, vadinamas **elektromagnetine indukcija**.

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

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \qquad (2.41)$$

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

$$\varepsilon_i = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \qquad (2.42)$$

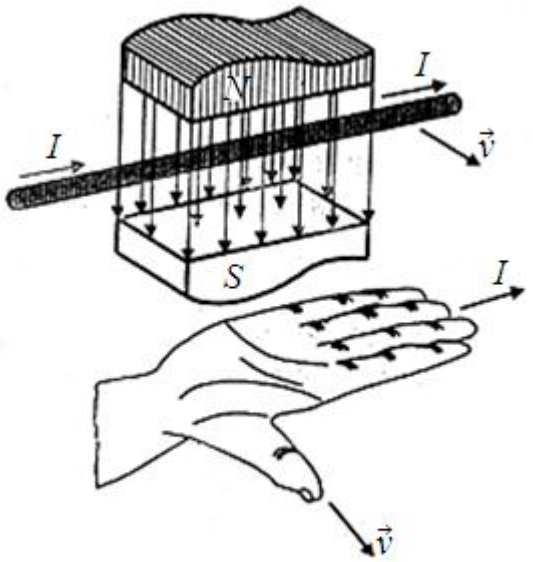
Magnetiniame lauke judančiame laidininke atsiradusi indukcinė evj randama:

$$\varepsilon_i = B\ell v \sin\alpha; \qquad (2.43)$$

čia B – magnetinė indukcija, ℓ – laidininko ilgis, v – laidininko judėjimo greitis, α – kampas tarp magnetinių linijų ir laidininko judėjimo greičio krypčių.

Indukuotosios srovės krypčiai nustatyti taikoma **Lenco taisyklė**: uždarame 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 krypčiai rasti galima taikyti dešiniosios rankos taisyklę (2.10 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 elektrinėje grandinėje, kai kinta ja tekančios elektros srovės stipris.

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

$$= LI; \qquad (2.44)$$

čia L – kontūro (ritės) induktyvumas.

Saviindukcinė elektrovaros jėga proporcinga srovės stiprio kitimo greičiui:

$$\varepsilon_s = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}; \qquad (2.45)$$

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).

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

Elektros srovės sukurto magnetinio lauko energija W_m:

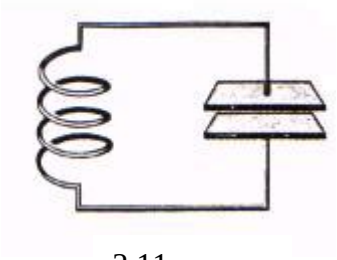
$$W_m = \frac{LI^2}{2}; \qquad (2.46)$$

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 (2.11 pav.).



2.11 pav.

Lygtis, apibūdinanti virpesių kontūre vykstančius procesus:

$$q'' = -\frac{1}{LC}q; \qquad (2.47)$$

čia C – kondensatoriaus talpa, L – ritės induktyvumas, q – krūvis, q'' – krūvio antroji išvestinė pagal laiką.

Šios lygties sprendimo išraiška:

$$q = q_m \cos \omega_0 t; \qquad (2.48)$$

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:

Tomsono formulė

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \qquad (2.49)$$

Dažnis:

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

Elektrinių virpesių kampinis dažnis:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \qquad (2.50)$$

Srovės stiprio virpesių kontūre kitimo lygtis:

$$i = I_m \cos\ (\omega_o t + \frac{\pi}{2})\,; \qquad (2.51)$$

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:

$$i = I_m\ \cos\ (\omega t + \varphi)\,; \qquad (2.52)$$

čia i – kintamosios srovės momentinė vertė, I_m – amplitudinė vertė, φ – srovės stiprio ir įtampos virpesių fazių skirtumas (poslinkis).

Kintamosios įtampos harmoninis kitimas:

$$u = U_m\ \cos\omega t; \qquad (2.53)$$

čia u – įtampos momentinė vertė, U_m – įtampos amplitudinė vertė.

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

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \qquad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \qquad \varepsilon = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}}. \qquad (2.54)$$

Talpinė varža:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \qquad (2.55)$$

Induktyvioji varža:

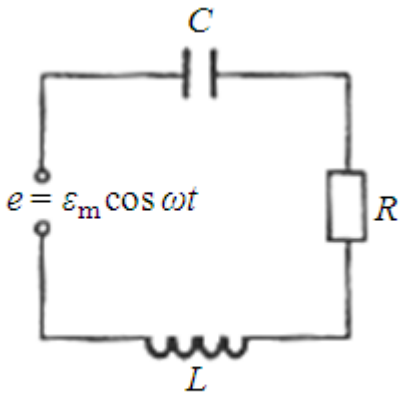
$$X_L = \omega L. \qquad (2.56)$$

Aktyvioji varža:

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

Pilnutinė kintamosios elektros srovės grandinės (2.12 pav.) varža:

$$X = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}\ . \qquad (2.57)$$



2.12 pav.

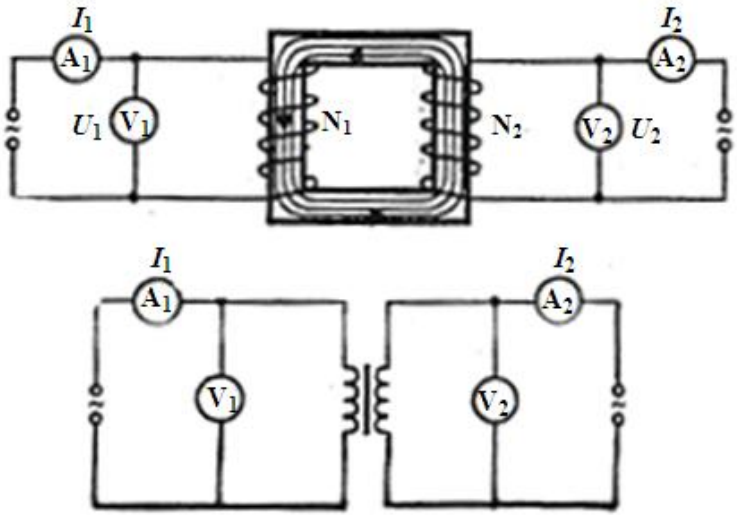
Omo dėsnis kintamosios elektros srovės grandinei:

$$I = \frac{\varepsilon}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}. \qquad (2.58)$$

Transformatoriaus transformacijos koeficientas:

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}; \qquad (2.59)$$

čia N_1 ir N_2 – pirminės ir antrinės apvijų vijų skaičius (2.13 pav.), U_1 ir U_2 – pirminės ir antrinės transformatoriaus apvijų įtampos, I_1 ir I_2 – pirminės ir antrinės transformatoriaus apvijų srovės stipriai.



2.13 pav.

Kai $K < 1$ – įtampos aukštinimo transformatorius.

Kai $K > 1$ – įtampos žeminimo transformatorius.

Transformatoriaus apvijose atsiradusių indukcinių evj santykis proporcingas apvijų vijų skaičiaus santykiui:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2}. \qquad (2.60)$$

Elektromagnetinis laukas

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

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

Elektromagnetinių bangų ilgis λ:

$$\lambda = c \cdot T \text{ arba } \lambda = \frac{c}{\nu}; \qquad (2.61)$$

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,

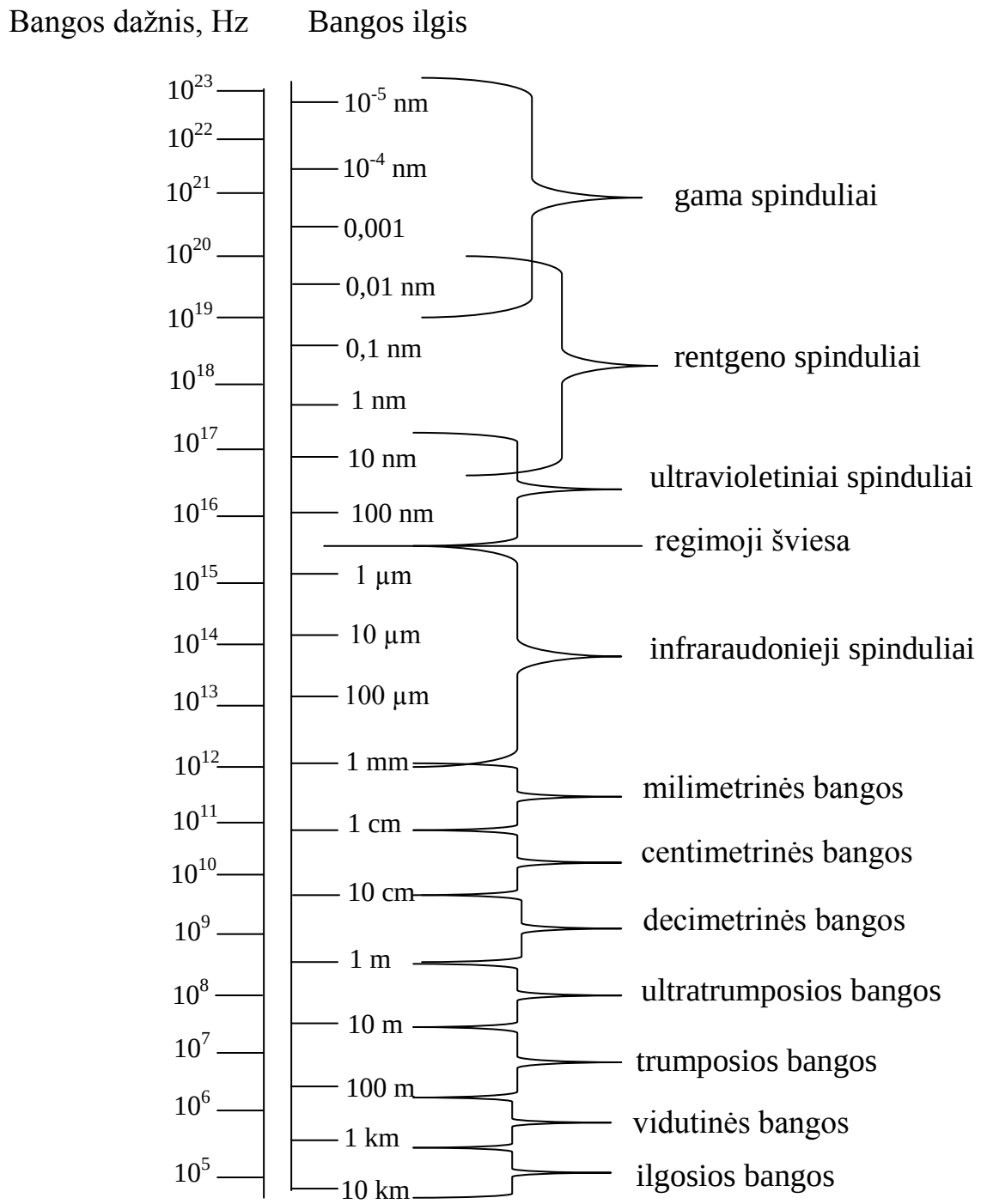
nuo 1 km iki 100 m – vidutinėmis, nuo 100 m iki 10 m – trumposiomis ir ultratrumposiomis, kai $\lambda < 10$ m.

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:

$$R = \frac{c\,t}{2}; \qquad (2.62)$$

čia c – bangos sklidimo greitis.

Elektromagnetinių bangų skalė



Testinio pobūdžio uždavinių pavyzdžiai

1 pavyzdys.

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. 7,1 kJ;
D. 85,26 kJ.

Pagal Džaulio ir Lenco dėsnį, išorinėje grandinės dalyje išsiskyręs šilumos kiekis:

$$Q_1 = I^2Rt,$$

o vidinėje grandinės dalyje

$$Q_2 = I^2rt.$$

Visas šilumos kiekis:

$$Q = Q_1 + Q_2;$$

$$Q = I^2Rt + I^2rt = I^2(R + r)t. \qquad (1)$$

Srovės stiprį I randame pasinaudodami Omo dėsniu visai grandinei

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}. \qquad (2)$$

(2) lygtį įrašę į (1) gauname

$$Q = \frac{\mathcal{E}^2 t}{R + r};$$

$$Q = \frac{144\ \mathrm{V}^2 \cdot 600\ \mathrm{s}}{12{,}2\ \Omega} = 7081{,}9\ \mathrm{J};$$

Q = 7,1 kJ.

$$[Q] = \frac{1\ \mathrm{V}^2 \cdot 1\ \mathrm{s}}{1\ \Omega} = \frac{1\ \frac{\mathrm{J}^2}{\mathrm{C}^2} \cdot 1\ \mathrm{s}}{1\ \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}} = \frac{1\ \mathrm{J}^2 \cdot 1\ \mathrm{A} \cdot 1\ \mathrm{s}}{1\ \mathrm{V} \cdot 1\ \mathrm{C}^2} = \frac{1\ \mathrm{J} \cdot 1\mathrm{V} \cdot 1\mathrm{C} \cdot 1\ \mathrm{A} \cdot 1\ \mathrm{s}}{1\ \mathrm{V} \cdot 1\ \mathrm{C}^2} = 1\ \mathrm{J}.$$

<u>Atsakymas:</u> C.

2 pavyzdys.

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.

Ampero (magnetinė) jėga lygi

$$F_m = BI\Delta\ell \sin\alpha.$$

Iš čia

$$\sin\alpha = \frac{F_m}{BI\Delta\ell}.$$

Apskaičiavę gauname

$$\sin\alpha = \frac{5\cdot 10^{-2}\ \mathrm{N}}{0{,}25\ \mathrm{T}\cdot 2\ \mathrm{A}\cdot 0{,}2\ \mathrm{m}};$$

$\sin\alpha = 0{,}5;\quad \alpha = 30^\circ.$

$$[\sin\alpha] = \frac{1\ \mathrm{N}}{1\ \mathrm{T}\cdot 1\ \mathrm{A}\cdot 1\ \mathrm{m}} = \frac{1\ \mathrm{N}}{1\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}\cdot\mathrm{m}}\cdot 1\ \mathrm{A}\cdot 1\ \mathrm{m}} = 1.$$

<u>Atsakymas:</u> D.

3 pavyzdys.

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

A. $3{,}77\cdot 10^{-4}$ s;
B. 3,77 s;
C. $3{,}77\cdot 10^{-2}$ s;
D. $3{,}77\cdot 10^{-3}$ s.

N vijų turinčiuose rėmeliuose indukuotos elektrovaros amplitudė

$$\mathcal{E}_\mathrm{m} = NBS\omega; \qquad (1)$$

čia N – vijų skaičius, B – magnetinės indukcijos vektorius, S – rėmelių plotas, ω – rėmelių kampinis dažnis. Iš (1) išreiškiame ω

$$\omega = \frac{\mathcal{E}_\mathrm{m}}{NBS} \qquad (2)$$

Kampinis dažnis

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \qquad (3)$$

Sulyginę (3) ir (2) lygtis gauname

$$\frac{2\pi}{T} = \frac{\mathcal{E}_\mathrm{m}}{NBS};$$

$$T = \frac{2\pi NBS}{\varepsilon_m};$$

$$T = \frac{6{,}28 \cdot 400 \cdot 15 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{T} \cdot 0{,}3\ \mathrm{m}^2}{3\ \mathrm{V}} = 3{,}77\ \mathrm{s};$$

$T = 3{,}77$ s.

$$1\ \mathrm{T} = \frac{1\ \mathrm{N}}{1\ \mathrm{A} \cdot 1\ \mathrm{m}};$$

$$[T] = \frac{1\ \mathrm{T} \cdot 1\ \mathrm{m}^2}{1\ \mathrm{V}} = \frac{1\ \mathrm{N} \cdot 1\ \mathrm{m}^2}{1\ \mathrm{A} \cdot 1\ \mathrm{m} \cdot 1\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}}} = \frac{1\ \mathrm{kg} \cdot 1\ \mathrm{m} \cdot 1\ \mathrm{m}}{1\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}} \cdot 1\frac{\frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}}{\mathrm{C}}} = \frac{1\ \mathrm{m}^2}{1\ \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}} = 1\ \mathrm{s}.$$

Atsakymas: B.

4 pavyzdys.

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 V. Kokia yra amplitudinė įtampos vertė?

A. 10,4 V;
B. 5 V;
C. 11,5 V;
D. 20 V.

Į lygtį $u = U_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$ įrašę duotąsias u ir t vertes ir žinodami, kad $\omega = \frac{2\pi}{T}$, gauname

$$U_m = \frac{u}{\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)};$$

$$U_m = \frac{10\ \mathrm{V}}{\cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{12} + \frac{\pi}{6}\right)} = \frac{10\ \mathrm{V}}{\cos\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{6}\right)} = \frac{10\ \mathrm{V}}{\cos\frac{\pi}{3}};$$

$$U_m = \frac{10\ \mathrm{V}}{\cos 60^\circ} = \frac{10\ \mathrm{V}}{0{,}5} = 20\ \mathrm{V};$$

$U_m = 20$ V.

Atsakymas: D.

Kompleksinių uždavinių pavyzdžiai

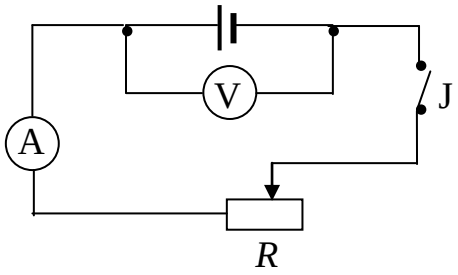
5 pavyzdys.

Elementas, kurio evj lygi 2,5 V ir vidinė varža 0,2 Ω, jungikliu sujungtas su reostatu. Voltmetras prijungtas prie šaltinio polių.

5.1. Nubraižykite grandinės schemą.

5.2. Kokia reostato varža, jeigu jo gnybtų įtampa lygi 2,4 V?
5.3. Kokio stiprio srovė teka reostatu?
5.4. Kokio ilgio geležinė viela reikalinga šiam reostatui pagaminti, jeigu vielos skerspjūvio plotas 0,75 mm^2?
5.5. Ką rodys voltmetras išjungus jungiklį? Kokį fizikinį dydį išmatuojame?

5.1. Grandinės schema (2.14 pav.)



2.14 pav.

5.2. Taikome Omo dėsnį uždarajai grandinei:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \qquad (1)$$

ir Omo dėsnį grandinės daliai

$$I = \frac{U}{R}. \qquad (2)$$

Sulyginę (1) ir (2) lygčių dešiniąsias puses, gauname

$$\frac{U}{R} = \frac{\mathcal{E}}{R + r};$$

$$UR + Ur = \mathcal{E}R;$$

$$R = \frac{Ur}{\mathcal{E} - U};$$

$$R = \frac{2{,}4\ \text{V} \cdot 0{,}2\ \Omega}{0{,}1\ \text{V}} = 4{,}8\ \Omega;$$

$R = 4{,}8\ \Omega$.

Atsakymas: $R = 4{,}8\ \Omega$.

5.3. Taikome Omo dėsnį grandinės daliai

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

$$I = \frac{2{,}4\ \text{V}}{4{,}8\ \Omega} = 0{,}5\ \text{A};$$

$I = 0{,}5$ A.

Atsakymas: $I = 0{,}5$ A.

5.4. Geležinės vielos ilgį randame iš varžos formulės

$$R = \rho \frac{\ell}{S};$$

čia R – reostato varža, ℓ – vielos ilgis, S – vielos skerspjūvio plotas, ρ – geležinės vielos savitoji varža ($\rho = 1{,}2 \cdot 10^{-7}\ \Omega \cdot \mathrm{m}$) randama lentelėse.

$$\ell = \frac{RS}{\rho};$$

$$\ell = \frac{4{,}8\,\Omega \cdot 7{,}5 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}^2}{1{,}2 \cdot 10^{-7}\ \Omega \cdot \mathrm{m}} = 30\,\mathrm{m};$$

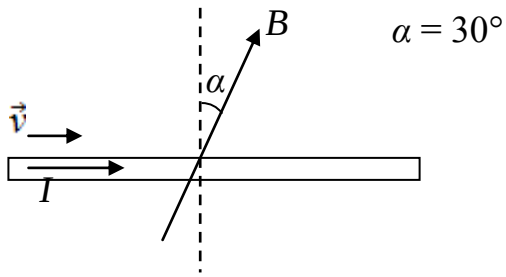
ℓ = 30 m.

Atsakymas: ℓ = 30 m.

5.5. Išjungus jungiklį voltmetras lieka prijungtas prie šaltinio, todėl jis išmatuos šaltinio elektrovarą ir rodys 2,5 V.

6 pavyzdys.

Vienalyčiame magnetiniame lauke, kurio magnetinė indukcija 3 T ir sudaro 30° kampą su vertikale, juda tiesus 2 m ilgio ir 2,5 kg masės laidininkas, kuriuo teka 5 A stiprio elektros srovė. Per 5 s nuo judėjimo pradžios laidininkas įgyja 15 m/s greitį, statmeną pačiam laidininkui. (2.15 pav.)



2.15 pav.

6.1. Kam lygi laidininką veikianti Ampero jėga?

6.2. Kokiu pagreičiu juda laidininkas?

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

6.4. Kam lygus Ampero jėgos atliktas darbas?

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

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

6.1. Norėdami apskaičiuoti Ampero jėgą, taikome formulę

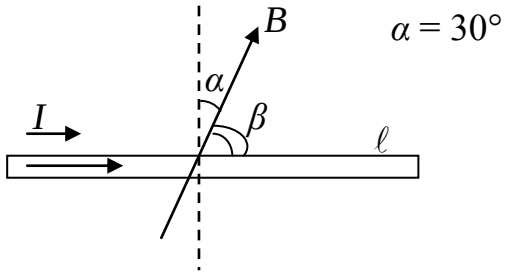
$$F_{\mathrm{m}} = BI\ell \sin\beta;$$

čia B – magnetinė indukcija, I – srovės stipris, tekantis laidininku, ℓ – laidininko ilgis, β – kampas tarp magnetinės indukcijos vektoriaus ir laidininko.

Iš brėžinio (2.16 pav.) matome, kad

$$\beta = 90° - \alpha;$$

$\beta = 60°$;
$F_m = 3\ T \cdot 5\ A \cdot 2\ m \cdot \sin 60°$;
$F_m = 30 \cdot 0{,}87\ N = 26{,}1\ N$;
$F_m = 26{,}1\ N$.
Atsakymas: $F_m = 26{,}1\ N$.



2.16 pav.

6.2. Laidininko judėjimo pagreitį randame taikydami formulę

$$a = \frac{v - v_0}{t};$$

čia v – galutinis greitis, v_0 – pradinis greitis, kuris šiuo atveju lygus 0, nes pradžioje laidininkas nejudėjo, t – judėjimo laikas.

$$a = \frac{15\ m/s}{5\ s} = 3\ m/s^2;$$

$a = 3\ m/s^2$.
Atsakymas: $a = 3\ m/s^2$.

6.3. Laidininko poslinkį apskaičiuojame pagal formulę:

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2},$$

kadangi $v_0 = 0$, tai

$$s = \frac{at^2}{2};$$

$$s = \frac{3\ \frac{m}{s^2} \cdot 25\ s^2}{2} = \frac{75\ m}{2} = 37{,}5\ m;$$

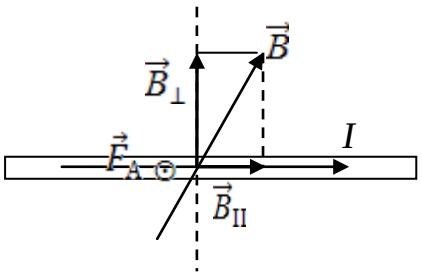
$s = 37{,}5\ m$.
Atsakymas: $s = 37{,}5\ m$.

6.4. Ampero jėgos darbą randame taikydami darbo formulę:

$$A = F_m s;$$

$A = 26{,}1\ N \cdot 37{,}5\ m = 978{,}75\ J$;
$A = 978{,}75\ J$.
Atsakymas: $A = 978{,}75\ J$.

6.5. Ampero (magnetinės) jėgos kryptį nustatome pagal kairės rankos taisyklę: ranka laikoma taip, kad magnetinės indukcijos vektoriaus statmenoji dedamoji būtų nukreipta į delną, o keturi ištiesti pirštai rodytų laidininku tekančios srovės kryptį, tai 90° kampu ištiestas nykštys rodys laidininką veikiančios jėgos kryptį. Šiuo atveju magnetinė jėga nukreipta į mus ⊙ 2.17 pav.



2.17 pav.

6.6. Laidininkui judant magnetiniame lauke, jame indukuojasi indukcinė elektrovara, kuri randama pagal formulę:

$$\varepsilon = B\ell v \sin\beta$$

čia ε – indukcinė evj, B – magnetinė indukcija, ℓ – laidininko ilgis, v – jo greitis, β – kampas tarp magnetinės indukcijos vektoriaus ir laidininko.

$\mathcal{E} = 3\ \mathrm{T} \cdot 2\ \mathrm{m} \cdot 15\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot \sin 60°$;

$\varepsilon = 90 \cdot 0{,}87\ \mathrm{V} = 78{,}3\ \mathrm{V}$;

$\varepsilon = 78{,}3\ \mathrm{V}$.

<u>Atsakymas:</u> $\mathcal{E} = 78{,}3\ \mathrm{V}$.

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.			2 – 1		
8.			2 – 2		
9.			2 – 3		
10.			2 – 4		
11.			2 – 5		
12.			3 – 1		
13.			3 – 2		
14.			3 – 3		
15.			3 – 4		
16.			3 – 5		
17.			4 – 1		
18.			4 – 2		
19.			4 – 3		
20.			4 – 4		
			4 – 5		
			5 – 1		
			5 – 2		
			5 – 3		
			5 – 4		
			5 – 5		

II TURO UŽDUOTYS
I DALIS

1. Du taškiniai krūviai, esantys ore 30 cm atstumu vienas nuo kito, veikia vienas kitą tam tikra jėga. Kokiu atstumu turėtų būti krūviai alyvoje, kad sąveikos jėga nepakistų? Alyvos dielektrinė skvarba 2,5.

A. 12 cm;
B. 75 cm;
C. 3,60 m;
D. 18,99 cm.

2. Iki kokio atstumo gali suartėti du elektronai, jeigu jie juda vakuume priešpriešiais 10^6 m/s greičiu? Elektrono masė $9{,}1\cdot10^{-31}$ kg, o krūvis $1{,}6\cdot10^{-19}$ C.

A. $5{,}064\cdot10^{-4}$ m;
B. $3{,}164\cdot10^{-10}$ m;
C. $5{,}064\cdot10^{-10}$ m;
D. $3{,}164\cdot10^{-9}$ m.

3. Apie vandenilio atomo branduolį skrieja elektronas. Branduolio krūvis $1{,}6\cdot10^{-19}$ C, orbitos spindulys $5\cdot10^{-11}$ m elektrono krūvio ir jo masės santykis $1{,}76\cdot10^{11}$ C/kg. Kokiu greičiu skrieja elektronas apie branduolį?

A. 2,25 (M·m)/s;
B. 7,12 (M·m)/s;
C. 1,31 (M·m)/s;
D. 5,25 (M·m)/s.

4. Perkeliant 10 nC krūvį vienalyčiame elektrostatiniame lauke, kurio stipris 10^6 V/m buvo atliktas 2 J darbas. Kokiu atstumu lauko E kryptimi buvo perkeltas šis krūvis?

A. $2\cdot10^{-6}$ m;
B. 2 m;
C. $2\cdot10^{-3}$ m;
D. 20 cm.

5. $2\cdot10^{-8}$ g masės dulkelė kabo tarp gulsčių oro kondensatoriaus plokštelių. Prie kondensatoriaus prijungta 5 kV įtampa, atstumas tarp plokštelių 3 cm. Koks tos dulkelės krūvis?

A. 0,0012 pC;
B. 120 nC;
C. 1,2 pC;
D. 1,2 nC.

6. Kaip ir kiek kartų pakis kondensatoriaus energija, jei plokštelių įtampa, nepakitus krūviui, sumažės 3 kartus.
A. Sumažės 3 kartus;
B. Padidės 9 kartus;
C. Sumažės 9 kartus;
D. Padidės 3 kartus.

7. Ilgą laidą skersai perpjovė pusiau ir suglaudė abi puses išilgai. Kaip ir kiek kartų pakito laido varža?
A. Padidėjo 2 kartus;
B. Sumažėjo 4 kartus;
C. Padidėjo 4 kartus;
D. Sumažėjo 2 kartus.

8. Prie akumuliatoriaus, kurio elektrovara 12 V, prijungta 4 Ω varža ima tekėti 2 A stiprio srovė. Koks akumuliatoriaus srovės stipris trumpojo jungimo metu?
A. 24 A;
B. 6 A;
C. 8 A;
D. Artės į begalybę.

9. Prie srovės šaltinio, kurio elektrovara 1,5 V, o vidinė varža 0,32 Ω, prijungta 12 Ω lemputė. Įtampos kritimas lemputėje 1,1 V. Kokia jungiamųjų laidų varža?
A. 8 Ω;
B. 4,69 Ω;
C. 12,32 Ω;
D. 4 Ω.

10. Srovės šaltinio gnybtai sujungiami 9 Ω varža. Po tam tikro laiko ši varža pakeičiama 16 Ω varža. Abiem atvejais per tą patį laiką išsiskiria vienodas šilumos kiekis. Kokia šaltinio vidinė varža?
A. 1,2 Ω;
B. 0,12 Ω;

C. 12 Ω;
D. 2,4 Ω.

11. Įjungus elektrinį virdulį į 220 V įtampos tinklą, vanduo jame užverda per 6 min. Virdulio talpa 2 ℓ, kaitinimo elemento galia 2 kW. Pradinė vandens temperatūra 17 °C. Koks elektrinio virdulio naudingumo koeficientas?
A. ≈ 97 %;
B. ≈ 85 %;
C. ≈ 63 %;
D. ≈ 78 %.

12. Normaliomis sąlygomis kibirkštinis išlydis ore vyksta esant 3000 kV/m elektrinio lauko stipriui. Koks elektrono laisvojo kelio ilgis, jeigu oro molekulės jonizacijai reikia $2{,}5\cdot10^{-18}$ J energijos?
A. 92 m;
B. 92 μm;
C. 52 μm;
D. 5,2 μm.

13. 1 g masės dalelė juda Žemės pusiauju į rytus 1 Mm/s greičiu. Žemės magnetinė indukcija $5\cdot10^{-5}$ T. Koks turi būti dalelės krūvis, kad Lorenco jėga visiškai kompensuotų sunkio jėgą?
A. 0,2 μC;
B. 200 C;
C. 0,2 C;
D. 0,2 mC.

14. Elektronas, pagreitintas 2500 V įtampos, patenka į greičiui statmeną magnetinį lauką. Kokia to lauko magnetinė indukcija, jeigu jame elektronas juda 0,25 m spindulio apskritimu?
A. $14{,}8\cdot10^{-5}$ T;
B. $6{,}75\cdot10^{-4}$ T;
C. $67{,}5\cdot10^{-4}$ T;
D. $14{,}8\cdot10^{-8}$ T.

15. Į 200 cm^2 ploto laidžią viją nuosekliai įjungtas 20 μF talpos kondensatorius. Magnetinės indukcijos linijos statmenos vijos plokštumai. Magnetinio lauko indukcija tolygiai kinta $5\cdot10^{-2}$ T/s greičiu. Koks kondensatoriaus krūvis?

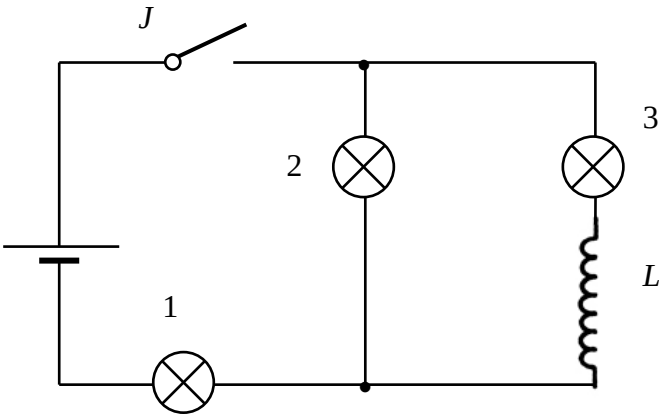
A. $2 \cdot 10^{-5}$ C;
B. $2 \cdot 10^{-7}$ C;
C. 20 nC;
D. 2 nC.

16. Magnetinis srautas, kertantis uždaro 200 Ω varžos laidininko plokštumą, per 4 s pakito nuo 2 Wb iki 4 Wb. Kokio didumo krūvis pratekėjo per tą laiką laidininku?

A. 0,02 C;
B. 100 C;
C. 0,01 C;
D. 0,1 C.

17. Elektros grandinės schema pavaizduota 2.18 paveikslėlyje. Jungiklis J įjungiamas ir išjungiamas po t sekundžių. Kuri lemputė ilgiausiai šviečia?

A. 1;
B. 2;
C. 3;
D. Visose vienodai.



2.18 pav.

18. Uždaro virpesių kontūro srovės stiprio amplitudė I_m = 15 μA, kondensatoriaus talpa C = 100 pF, ritės induktyvumas L = 20 mH. Kokia amplitudinė krūvio vertė kondensatoriuje, kai kontūro aktyvioji varža lygi 0?

A. $21{,}15 \cdot 10^{-16}$ pC;
B. $3 \cdot 10^{4}$ C;
C. $3 \cdot 10^{-5}$ pC;
D. 21,15 pC.

19. Srovės stipris grandinėje, kurioje įjungtas R = 20 Ω aktyviosios varžos rezistorius, kinta dėsniu $i = 12{,}3 \cdot \sin 100\pi t$. Kokia grandinėje naudojama aktyvioji galia?

A. 246 W;

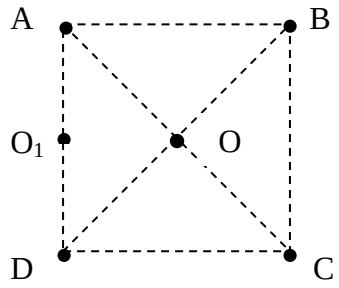
B. 3,026 kW;
C. 7,565 W;
D. 1,23 kW.

20. Radijo imtuvas priima 30 m ilgio radijo bangas. Kiek kartų reikėtų pakeisti atstumą tarp plokščiojo kondensatoriaus, įjungto į imtuvo virpesių kontūrą, plokštelių, kad būtų galima priimti 300 m ilgio bangas?

A. 100 kartų;
B. 10 kartų;
C. 30 kartų;
D. 15 kartų.

II DALIS

1. Kvadrato ABCD viršūnėse yra vienodi taškiniai *q* krūviai. Kvadrato kraštinės ilgis *a* (2.19 pav.).



2.19 pav.

1-1. Apskaičiuokite elektrinio lauko stiprį ir nubrėžkite jo kryptį taške O, kai visi krūviai teigiami.

1-2. Koks elektrinio lauko stipris ir kryptis taške O, kai krūviai taškuose A ir B teigiami, o C ir D – neigiami?

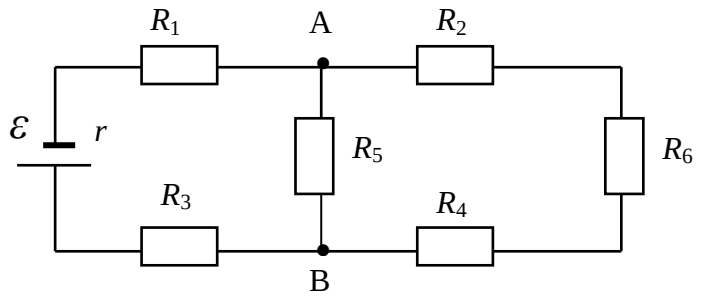
1-3. Raskite elektrinio lauko stiprį ir kryptį taške O_1, kuris yra kvadrato kraštinės viduryje, kai visi krūviai teigiami.

1-4. Apskaičiuokite elektrinio lauko stiprį ir kryptį taške O_1, kai taškuose A ir B krūviai teigiami, o C ir D – neigiami.

1-5. Raskite elektrinio lauko potencialą taške O, kai krūviai taškuose A ir D teigiami, o B ir C – neigiami.

1-6. Koks elektrinio lauko potencialas taške O_1, kai krūviai taškuose B ir C neigiami, o A ir D teigiami?

2. Elektros srovės šaltinis, kurio elektrovara 24 V ir vidaus varža 0,3 Ω, sujungtas su rezistoriais taip, kaip parodyta schemoje (2.20 paveikslas). Kiekvieno rezistoriaus varža 4 Ω.



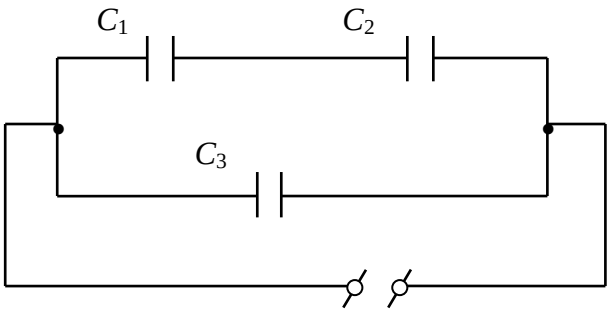
2.20 pav.

2-1. Raskite bendrą grandinės varžą.
2-2. Koks srovės stipris rezistoriuje R_1?
2-3. Kokia įtampa tarp taškų A ir B?
2-4. Apskaičiuokite srovės stiprį rezistoriuje R_2.
2-5. Koks srovės stipris rezistoriuje R_5?

3. Geležinė plokštelė, kurios paviršiaus plotas 100 cm^2, nikeliuojama 5 h. Plokštele teka 0,5 A stiprio srovė, o šaltinio gnybtų įtampa 36 V. Nikelio molio masė 58,7 g/mol, valentingumas 2, tankis $8{,}8\cdot10^3$ kg/m^3, Faradėjaus skaičius $9{,}65\times$ $\times10^4$ C/mol.

3-1. Apskaičiuokite padengusio geležinę plokštelę nikelio masę.
3-2. Kokio storio nikelio sluoksnis padengė plokštelę?
3-3. Kiek sunaudojama elektros energijos kilovatvalandėmis nikeliuojant plokštelę, esant 80 % naudingumo koeficientui?
3-4. Nustatykite nikelio elektrocheminį ekvivalentą.
3-5. Kokiu greičiu „augo“ nikelio sluoksnis nikeliuojant geležinę plokštelę, jeigu prie plokštelės srovės tankis vonioje j = 0,5 A/dm^2? Apskaičiuokite naudodami srovės tankį.

4. Grandinė sudaryta iš trijų C_1 = 1 μF C_2 = 3μF ir C_3 = 2 μF kondensatorių, sujungtų taip, kaip parodyta schemoje (2.21 pav.). Prie jų prijungta 220 V ir 50 Hz dažnio kintamoji įtampa.



2.21 pav.

4-1. Raskite bendrą kondensatorių talpą.

4-2. Iki kokio dydžio susikaupia krūvis kondensatoriuje C_3?

4-3. Apskaičiuokite kondensatoriaus C_2 įtampą U_2.

4-4. Kokios kondensatorių C_1, C_2, C_3 talpinės varžos?

4-5. Apskaičiuokite kintamosios srovės tekančios kondensatoriumi C_3, efektinį stiprį esant 15 Ω laidų aktyviajai varžai.

5. Virpesių kontūro kondensatoriaus plokščių įtampa kinta dėsniu $U = 50 \cos 500\pi t$. Kondensatoriaus talpa $C = 0{,}5$ μF.

5-1. Raskite kontūro virpesių dažnį.

5-2. Koks tų virpesių periodas?

5-3. Apskaičiuokite virpesių kontūro ritės induktyvumą.

5-4. Užrašykite $i = f(t)$ kitimo lygtį.

5-5. Apskaičiuokite didžiausią virpesių kontūro ritės energiją.

KVIEČIAME STUDIJUOTI

ŠIAULIŲ UNIVERSITETO GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETE

Fizikos katedros kuruojamos programos:

BAKALAURO STUDIJOS

FIZIKA

Kvalifikacinis laipsnis: fizikos bakalauras
Studijų trukmė – 4 metai (160 kreditų)
Studijų forma: nuolatinė

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 išklausę 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, moderniųjų technologijų srityje, valstybinėse ir komercinėse struktūrose, kurti arba organizuoti savo verslą.

OPTOMETRIJA

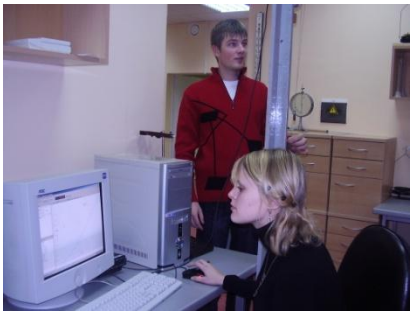
Kvalifikacinis laipsnis: fizikos bakalauras
Studijų trukmė – 4 metai (160 kreditų)
Studijų forma: nuolatinė

Studijuojant įgyjamas bazinis fiziko-optometrininko 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, moderniųjų technologijų srityje, kurti arba organizuoti savo verslą.

FIZIKA IR INFORMATIKA



Kvalifikacinis laipsnis: dalyko pedagogikos, fizikos ir informatikos bakalauras
Profesinė kvalifikacija: fizikos ir informatikos mokytojas
Studijų trukmė – 4 metai (160 kreditų)
Studijų forma: nuolatinė

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, moderniųjų technologijų srityje, valstybinėse ir komercinėse struktūrose, kurti arba organizuoti savo verslą.

MAGISTRO STUDIJOS

FIZIKA

Kvalifikacinis laipsnis: dalyko pedagogikos, fizikos magistras
Profesinė kvalifikacija: mokytojas
Studijų trukmė – 2 metai (80 kreditų)
Studijų forma: nuolatinė

Studijuoti pagal šią programą gali asmenys, turintys bakalauro laipsnį ar jį atitinkantį diplomą ir išklausę bendrosios fizikos, aukštosios matematikos kursus. Pasirinkę šias studijas magistrantai pagilina ir praplečia šiuolaikinės fizikos, edukologijos bei fizikos 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
2010 11 (496)
2010–2011 mokslo metai

Redagavo Algirdas Malakauskas
Rinko ir maketavo Liudmila Lukaševič

SL 843. 2008 09 05. 3 leidyb. apsk.1. 3,6 aut.l. Tiražas 550. Užsakymas
Spausdino UAB „Šiaulių knygrišykla“,
P. Lukšio 9A, LT-76207 Šiauliai, tel.: (8 ~ 41) 50 03 33, 43 19 14.