71-osios Lietuvos mokinių fizikos olimpiados šalies etapas (2024 m.)
10 klasė (užduotys ir sprendimai)

1. Masės M = 1200 kg automobilis turi diskinius stabdžius. Metaliniai stabdžių diskai atrodo kaip plokšti žiedai, kurių vidinis spindulys r = 5 cm, išorinis R = 15 cm, storis h = 16 mm. Kiek vidutiniškai padidės diskų temperatūra staigiai sustabdžius automobilį, kurio greitis v = 72 km/h, jeigu stabdymui stabdžiais sunaudojama 60% visos energijos? Diskų metalo tankis ρ = $8 \cdot 10^3$ kg/m^3, savitoji šiluma c = 0,5 kJ/(kg·K)

Sprendimas.

Šilumos kiekis, kurį gauna vienas rato stabdymo diskas, apskaičiuojama taip

$$Q_1 = cm\Delta t \qquad (1) \qquad \text{(1 taškas)}$$

Vieno disko masė randama naudojant tokią išraišką

$$m = \rho V \qquad \text{(1 taškas)}$$

Vieno disko tūris yra randamas taip

$$V = Sh \qquad \text{(1 taškas)}$$

Čia S – stabdymo disko plotas, h – disko storis.
Žiedo plotas S apskaičiuojamas taip

$$S = \pi\left(R^2 - r^2\right) \qquad \text{(1 taškas)}$$

Čia R ir r – išorinis ir vidinis žiedo spidnuliai, atitinkamai.
Vieno disko masė:

$$m = \pi\rho h\left(R^2 - r^2\right) \qquad (2) \qquad \text{(1 taškas)}$$

Judančios automobilio kinetinė energija:

$$E_k = \frac{Mv^2}{2} \qquad (3) \qquad \text{(1 taškas)}$$

Kadangi 60% stabdomo automobilio energijos virto šiluma stabdžių diskuose ir atsižvelgę į tai, kad tipinis automobilis turi keturis ratus, užrašome šilumos kiekį, kurį gavo vienas rato diskas:

$$Q_1 = \eta\frac{E_k}{4} \qquad (4) \qquad \text{(1 taškas)}$$

Įstatę į (4) lygtį (1), (2) ir (3), gauname:

$$\pi c\rho h\left(R^2 - r^2\right)\Delta t = \eta\frac{Mv^2}{8} \qquad \text{(1 taškas)}$$

Išsireiškę temperatūros skirtumą, gauname:

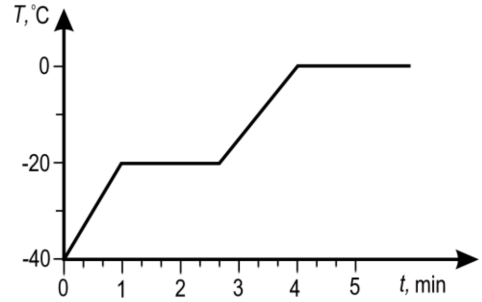
$$\Delta t = \frac{\eta M v^2}{8\pi c\rho h\left(R^2 - r^2\right)} \qquad \text{(1 taškas)}$$

Suskaičiavę, gauname temperatūrą:

$$\Delta t = \frac{0{,}6 \times 1200\ \text{kg} \times \left(20\ \text{m/s}\right)^2}{8 \times 3{,}14 \times 500\,\frac{\text{J}}{\text{kg} \times \text{K}} \times 8000\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0{,}016\ \text{m} \times \left(\left(0{,}15\ \text{m}\right)^2 - \left(0{,}05\text{m}\right)^2\right)} \approx 9\ ^{\text{o}}\text{C} \qquad \text{(1 taškas)}$$

Atsakymas: 9°C

2. M = 1 kg ledo ir M = 1 kg vandenyje netirpstančios medžiagos, kuri nesimaišo su vandeniu, dedama į –40 ºC temperatūros izoliuotą indą, kurio viduje yra šildytuvas. Į šildytuvą tiekiama nuolatinė galia. Temperatūros inde priklausomybė nuo laiko parodyta grafike. Ledo savitoji šiluma yra c_{ledo} = 2,1×10^3 J/(kg ºC), ledo lydymosi šiluma o kietos būsenos netirpios medžiagos savitoji šiluma c_1 = 10^3 J/(kg ºC). Raskite nežinomos medžiagos savitąją lydymosi šilumą λ ir jos savitąją šilumą išlydytoje būsenoje c_2.



Sprendimas.

Iš pirmos grafiko dalies matyti, kad per laiką Δt_1 = 60 s vyksta ledo ir kietos nežinomos medžiagos įkaitinimo procesas nuo T_1 = -40 ºC iki T_2 = -20 ºC. Jei šildytuvo galia yra N, tada šio proceso šilumos balanso lygtis yra tokia: (1 taškas)

$$m\left(c_{\text{ledo}}+c_1\right)\left(T_2-T_1\right)=N\Delta t_1 \qquad (1)$$ (2 taškai)

čia m = 1 kg – ledo masė, ji lygi nežinomos medžiagos masei. (1 taškas)
Per laiką Δt_2 = 100 s (horizontali diagramos dalis) medžiaga išsilydo esant T_2 = -20 ºC. Šiame etape visa šiluma sunaudojama nežinomos medžiagos lydymui

$$\lambda m=N\Delta t_2 \qquad (2)$$ (1 taškas)

Per laiką Δt_3 = 80 s (trečia grafiko dalis) ledas ir išlydyta medžiaga pašildomi nuo temperatūros T_2 = -20 ºC iki temperatūros T_3 = 0 ºC, t.y. (1 taškas)

$$m\left(c_{\text{ledo}}+c_2\right)\left(T_3-T_2\right)=N\Delta t_3 \qquad (3)$$ (2 taškai)

Padalinę (1) lygtį iš (3), išsireiškiame c_2:

$$c_2=\left(c_{\text{ledo}}+c_1\right)\frac{T_2-T_1}{T_3-T_2}\cdot\frac{\Delta t_3}{\Delta t_3}-c_{\text{ledo}}$$ (1 taškas)

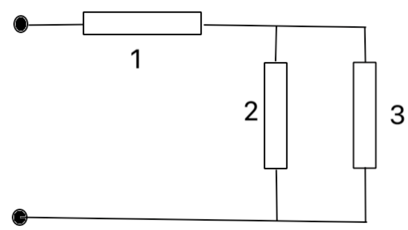
Padalinę (1) lygtį iš (2), išsireiškiame λ:

$$\lambda=\left(c_{\text{ledo}}+c_1\right)\left(T_2-T_1\right)\cdot\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}$$ (1 taškas)

Atsakymas: $c_2=\left(c_{\text{ledo}}+c_1\right)\frac{T_2-T_1}{T_3-T_2}\cdot\frac{\Delta t_3}{\Delta t_3}-c_{\text{ledo}}$, c_2=2·10^3 J/(kg·ºC); (1 taškas)

$\lambda=\left(c_{\text{ledo}}+c_1\right)\left(T_2-T_1\right)\cdot\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}$, λ=10^5 J/kg

3. Elektrinis šildytuvas turi tris vienodas spirales sujungtas taip, kaip pavaizduota paveiksle. Elektriniu šildytuvu pašildžius vandenį t = 9 min, vanduo sušyla nuo t_1 = 20 ºC iki t_2 = 50 ºC temperatūros. Tada perdegė spiralė 3. Kiek laiko ilgiau užtruks, kol vanduo užvirs veikiant likusioms dviem spiralėms? Laikykite, kad šilumos nuostolių nėra ir šildytuvo gnybtuose įtampa lieka pastovi**.**



Sprendimas

Prieš perdegant spiralei bendra grandinės varža lygi

$$R_1 = \frac{R}{2} + R = 1{,}5R$$ (1 taškas)

Perdegus vienai trečiai spiralei, bendra grandinės varža:

$$R_2 = R + R = 2R$$ (1 taškas)

Vandeniui sušildyti reikalingas šilumos kiekis:

$$Q = cm\left(t_2 - t_1\right)$$ (1 taškas)

Tekant elektros srovei spiralėmis išsiskiriantis šilumos kiekis randamas pagal:

$$Q = \frac{U^2}{R}$$ (1 taškas)

Sudarome lygtį, kai vanduo šildomas trimis spiralėmis iki nurodytos sąlygoje temperatūros: (1 taškas)

$$\frac{U^2}{R_1} t_{\text{trys}} = cm\left(t_2 - t_1\right) \qquad (1)$$

Kai vanduo šyla su dviem spiralėmis iki virimo temperatūros t_{v}=100 ºC:

$$\frac{U^2}{R_2} t_{\text{dvi}} = cm\left(t_v - t_2\right) \qquad (2)$$

Kai vanduo šyla trimis spiralėmis iki virimo temperatūros:

$$\frac{U^2}{R_1} t_{\text{trysX}} = cm\left(t_v - t_2\right) \qquad (3)$$ (2 taškai)

Kur t_{trys} – laikas, kurį užtruko šildymas vandens iki nurodytos temperatūros, t_{dvi} - šildymo laikas iki virimo su dviem spiralėmis, t_{trysX} – šildymo laikas iki virimo, jei nebūtų perdegusi 3 spiralė nuo temperatūros t_2.

Iš (1) ir (2) lygčių santykio nustatomas šildymo laikas, kai kaitinimas vyksta veikiant dviem spiralėms:

$$t_{\text{dvi}} = t_{\text{trys}} \frac{R_2}{R_1} \frac{t_v - t_2}{t_2 - t_1} = \frac{4}{3} t_{\text{trys}} \frac{t_v - t_2}{t_2 - t_1}$$ (1 taškas)

Iš (1) ir (3) santykio arba iš (2) ir (3) santykio nustatomas laikas per kiek užvirtų vanduo iki virimo, jei kaitinama su trimis veikiančiomis spiralėmis:

$$t_{\text{trysX}} = t_{\text{trys}} \frac{R_1}{R_1} \frac{t_v - t_2}{t_2 - t_1} = t_{\text{trys}} \frac{t_v - t_2}{t_2 - t_1}$$ (1 taškas)

Tuomet skirtumas tarp užvirimo laiko su trimis ir dviem spiralėmis lygus:

Atsakymas.: $\Delta t = t_{\text{dvi}} - t_{\text{trysX}} = \frac{t_{\text{trys}}}{3} \frac{t_v - t_2}{t_2 - t_1} = 5\ \text{min}$ (1 taškas)

4. Monochromatinis šviesos šaltinis, kurio spinduliuotės galia yra P = 1 W, apšviečia fotoelementą. Šio proceso metu fotoelementas generuoja I = 250 mA elektros srovę, o išlekiančių elektronų greitis yra $v = 2\cdot10^5$ m/s. Nustatykite, kam lygi fotoefekto raudonoji riba, jei santykis tarp fotonų, sukeliančių fotoefektą ir visų šaltinio išspinduliuotų fotonų lygus k=0,5?

Sprendimas

Fotoefekto metu elektronas, veikiamas šviesos, išplėšiamas iš medžiagos. Fotono energija sunaudojama išlaisvinimo darbui A, o likusi fotono energija virsta elektrono kinetine energija

$$hf = A + \frac{mv^2}{2}$$ (1 taškas)

Čia h – Planko konstanta, f ir λ – šviesos bangos dažnis ir ilgis, atitinkamai, m – elektrono masė, v – elektrono greitis.

Mažiausia šviesos fotono energija, kuri lygi išlaisvinimo darbui, apibrėžia raudonąją ribą

$$A = hf_R = \frac{hc}{\lambda_R}$$ (1 taškas)

Kadangi išlėkę elektronai turi kinetinės energijos, tai fotono energija didesnė už išlaisvinimo darbą, todėl

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_R} + \frac{mv^2}{2}$$

Iš šios sąlygos randame raudonosios ribos bangos ilgį

$$\lambda_R = \frac{hc}{\frac{hc}{\lambda} - \frac{mv^2}{2}} \qquad (1)$$ (1 taškas)

Jeigu sukeliančių fotoefektą fotonų skaičius per laiko vienetą pažymėsime M, o visų šaltinio išspinduliuotų fotonų skaičių – N, tada jų santykis:

$$k = \frac{M}{N}. \qquad (2)$$ (1 taškas)

Kadangi kiekvienas fotoefektą sukeliantis fotonas išmuša vieną elektroną, iš srovės stiprio apibrėžimo gauname:

$$M = \frac{I}{e}, \qquad (3)$$ (1 taškas)

Čia e elementarusis krūvis, o I – elektros srovės stipris.

Monochromatinio šviesos šaltinio išspinduliuotų fotonų energija per laiko vienetą sudaro jo spinduliuotės galią:

$$P = N \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda} \qquad (4)$$ (1 taškas)

Todėl, pasinaudodami išvardintomis lygtimis galime rasti kam yra lygus bangos ilgis λ.

$$\lambda = \frac{h \cdot c \cdot I}{k \cdot e \cdot P}. \qquad (5)$$ (2 taškai)

Įstatę bangos ilgio išraišką (5) į (1), užrašome galutinę išraišką ir apskaičiuojame.

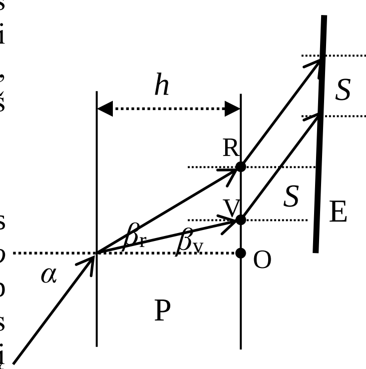
$$\lambda_R = \frac{hc}{\frac{keP}{I} - \frac{mv^2}{2}} \approx 657{,}4\times10^{-9}\,\mathrm{m}$$ (2 taškai)

Atsakymas: λ_R=657,4 nm

5. Siauras baltos šviesos spindulys kampu α=60º krenta į storio h = 27 cm skaidrios medžiagos plokštelę. Plokštelės medžiagos lūžio rodiklis priklauso nuo šviesos dažnio ν tokiu dėsniu $n = 1 + kf$, kur k=1,0·10^{-15} s. Kokio pločio šviesos dėmė matoma ekrane, kuris lygiagretus plokštelei, o atstumas iki ekrano L=1 m? Raudonos šviesos bangos ilgis λ_r = 760 nm, o violetinės – λ_v = 380 nm.

Sprendimas

Pažymime ieškomą plotį S ir braižome brėžinį. Dėl dispersijos (lūžio rodiklio priklausomybės nuo šviesos dažnio) raudoni spinduliai patekdami į plokštelę ir išeidami iš jos lūžta silpniau, negu violetiniai, tačiau visų spalvų spinduliai išeina iš plokštelės lygiagrečiai kritusiam spinduliui. (1 taškas dispersijos paaiškinimas)



Kadangi išėję spinduliai yra tarpusavyje lygiagretūs, o ekranas lygiagretus plokštelei, šviesos dėmės plotis ekrane *nepriklauso nuo atstumo tarp plokštelės ir ekrano* ir lygus atstumui tarp taško R, kuriame raudonas spindulis krenta į vidinį plokštelės paviršių, ir taško V, kuriame violetinis spindulis krenta į vidinį plokštelės paviršių. (2 taškai brėžinys)

(2 taškai)

$$S = \mathrm{OR} - \mathrm{OV} . \qquad (1)$$

Atstumai OR ir OV yra lygūs

$$\mathrm{OR} = h\sin\beta_r\,,\ \mathrm{OV} = h\sin\beta_v \qquad (2)$$

(1 taškas)

Čia kampai β_r ir β_v – raudono ir violetinio spindulių lūžio kampai.
Šiuos kampus randame iš lūžio dėsnio

$$n_r = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta_r}, \qquad n_v = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta_v} \qquad (3)$$

(1 taškas)

Pagal sąlygą lūžio rodikliai lygūs

$$n_r = 1 + kf_r = 1 + k\frac{c}{\lambda_r}, \quad n_v = 1 + k\frac{c}{\lambda_v} \qquad (4)$$

(1 taškas)

Čia c šviesos greitis, c=3,0·10^8 m/s.
Įstate šia išraiškas į (1), gauname galutinę dėmės pločio formulę

$$S = h\sin\alpha\left(\frac{\lambda_r}{\lambda_r + kc} - \frac{\lambda_v}{\lambda_v + kc}\right)$$

(1 taškas)

$$S = 0{,}27\cdot\sin 60\cdot\left(\frac{760\cdot10^{-9}}{760\cdot10^{-9} + 10^{-15}\cdot3\cdot10^{8}} - \frac{380\cdot10^{-9}}{380\cdot10^{-9} + 10^{-15}\cdot3\cdot10^{8}}\right) \approx 0{,}037\ (\mathrm{m}).$$

(1 taškas)

Ats.: S=37 mm.