Eesti koolinoorte 70. füüsikaolümpiaad

1. aprill 2023. a.
Põhikooli ülesannete lahendused (8.–9. klass)

1. (*KÜPSETAMINE*) (*6 p.*) *Autor: Moorits Mihkel Muru*

Liha soojendamiseks kulub energia $Q_l = c_l \cdot m_l \cdot (T_{l_1} - T_{l_0})$ ja klaasvaagna jaoks $Q_v = c_v \cdot m_v \cdot (T_{v_1} - T_{v_0})$.

Ahi tekitab $t = 30\,\mathrm{min} = 1800\,\mathrm{s}$ jooksul soojust $Q_a = P \cdot t$.

Saame leida keskmise kasuteguri soojendamiseks kulunud ja kogu tekitatud soojusenergiate suhtest.

$$\eta = \frac{Q_l + Q_v}{Q_a} = \frac{c_l \cdot m_l \cdot (T_{l_1} - T_{l_0}) + c_v \cdot m_v \cdot (T_{v_1} - T_{v_0})}{P \cdot t} =$$

$$= \frac{3{,}4\,\mathrm{kJ/(kg \cdot {}^\circ C)} \cdot 1\,\mathrm{kg} \cdot (90\,^\circ\mathrm{C} - 5\,^\circ\mathrm{C}) + 0{,}84\,\mathrm{kJ/(kg \cdot {}^\circ C)} \cdot 0{,}5\,\mathrm{kg} \cdot (110\,^\circ\mathrm{C} - 22\,^\circ\mathrm{C})}{1\,\mathrm{kW} \cdot 1800\,\mathrm{s}} \approx 0.181$$

2. (*SOODALAHUS*) (*8 p.*) *Autor: Jaan Kalda*

Alguses oli lahuse kogumass $M_0 = 1200\,\mathrm{g}$ ning soola oli selles $m = 200\,\mathrm{g}$, seega lahuse kontsentratsioon $c_0 = 100\% \cdot m/M_0 \approx 16.7\%$.

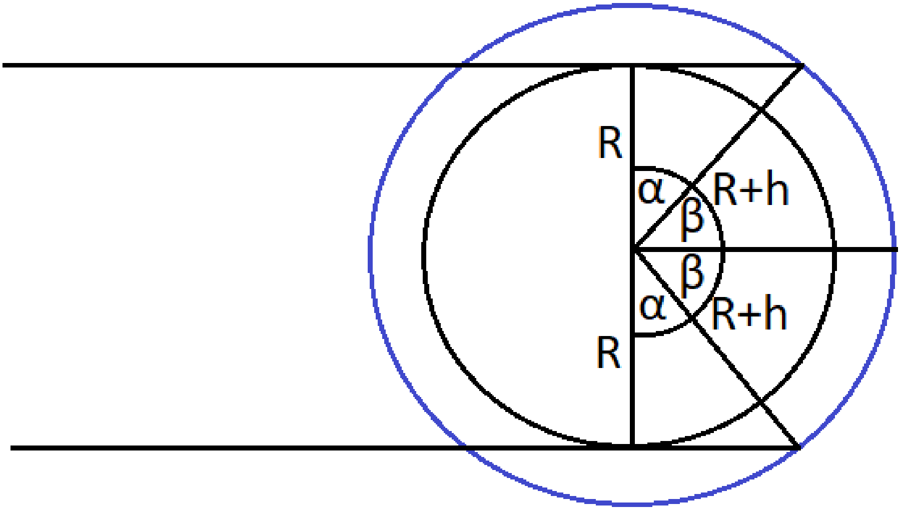
Graafikult leiame, et selle tihedus $\rho_0 = 1{,}15\,\mathrm{g/cm^3}$, seega lahuse algne ruumala $V_0 = M_0/\rho_0 = 1043\,\mathrm{cm^3}$ ning lõppruumala $V = V_0/3 = 348\,\mathrm{cm^3}$. Uus lahuse kontsentratsioon $c = m/M = m/(V\rho)$, kus M tähistab uut massi ning ρ — uut tihedust. Siit saame avaldada $\rho c = m/V = 0{,}575\,\mathrm{g/cm^3} = 57{,}5\,\mathrm{g/cm^3}\%$.

Katse-eksituse meetodil leiame, et sellisele tingimusele vastab graafikul punkt $c = 40.5\%$ ja $\rho = 1{,}415\,\mathrm{g/cm^3}$. Seega lahuse uus kontsentratsioon on $c = 40.5\%$.

3. (*SATELLIIT MARSIL*) (*8 p.*) *Autor: Jonatan Kalmus*

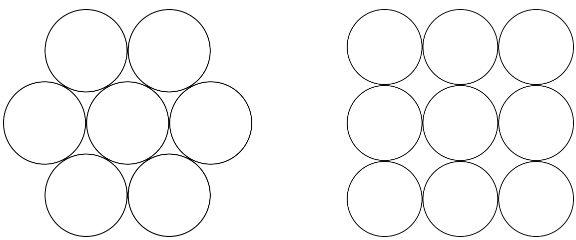
Tuleb arvestada, et osa ajast on satelliit „Marsi taga“ ning siis ei saa andmeid saata. Kuna Marsi raadius on oluliselt väiksem Maa kaugusest, kasutame väikeste nurkade lähendust s.t. loeme kaugelt tulevad kiired paralleelseks. (v.t. joonis). On selge, et $cos(\alpha) = \frac{R}{R+h}$ ning $sin(\beta) = \frac{R}{R+h}$, kust $\beta = arcsin(\frac{R}{R+h}) \approx 62{,}4^\circ$. Seega ühe orbiidi perioodi T jooksul on Satelliit Maalt nähtav $T_2 = T \cdot \frac{360^\circ - 2\beta}{360^\circ} = 1{,}31\,\mathrm{h}$. Seega perioodi T jooksul saab saata $1{,}31\,\mathrm{h} \cdot 3600\,\mathrm{s/h} \cdot 1\,\mathrm{Mbit/s} = 4720\,\mathrm{Mbit} = 590\,\mathrm{MB} = 0{,}59\,\mathrm{GB}$ andmeid. Seega kulub andmete saatmiseks kokku 10 orbiidi perioodi ehk 20 h.

Aga selle aja jooksul teeb Maa peaaegu täispöörde ning Marss ei saa olla kogu selle aja vältel maalt nähtaval. Täpsemalt on Marss jaamast nähtaval esimesed 6 tundi ehk 3 orbiidi perioodi ning seejärel 12 tundi „Maa taga“. Järgmisel päeval saab saata 12 tunni ehk 6 orbiidi perioodi jagu andmeid ning alles ülejärgmisel päeval saab saata viimased andmed, milleks kulub 1 orbiidi periood ehk 2 tundi. Kokku kulub andmete saatmiseks koos ooteajaga $20\,\mathrm{h} + 2 \cdot 12\,\mathrm{h} = 44\,\mathrm{h}$.



4. (*PARDIRALLI*) (*8 p.*) *Autor: Kaarel Kivisalu*

Kui pardid on vette lastud, siis nad asuvad tihedalt koos. Kuna nad põrkuvad üksteise vastu ning nende all voolab vesi, siis nad ilmselt pole kõige võimalikult tihedamalt kokku pakitud (vasakpoolne joonis). Pakkimistiheduse hindamiseks eeldame, et pardid on natuke hõredamalt üksteisest ligikaudu kaugusel $2R$ (nagu parempoolsel joonisel), siis on ühe pardi kohta keskmine pindala $4R^2$.



Seega võtavad pardid kokku enda alla pindala $4NR^2$, mis tähendab, et partidega täidetud kanaliosa pikkus on $L = 4NR^2/d$. Viimasel pardil tuleb läbida vahemaa $s + L$ ja keskmiselt on vahemaa $s + L/2$. Seega on otsitav aeg

$$\frac{s + L/2}{v} = \frac{s + \frac{2NR^2}{d}}{v}.$$

5. (*JOOTEKOLB*) (*8 p.*) *Autor: Oleg Košik*

Kui jootekolb töötab nimipingel $U_0 = 110\,\mathrm{V}$, siis pinge hõõglambil on $U_2 = U_0 - U_1 = 120\,\mathrm{V}$. Jootekolbi läbib nimivool $I = P/U_0$, sama vool läbib ka hõõglampi. Seega hõõglambi takistus on $R = U_2/I = U_0U_2/P$. Hõõglambi nimitakistus on niisiis

$$P_2 = \frac{U_0^2}{R} = \frac{U_0^2 P}{U_0U_2} = P\frac{U_0}{U_2} = 22\,\mathrm{W}.$$

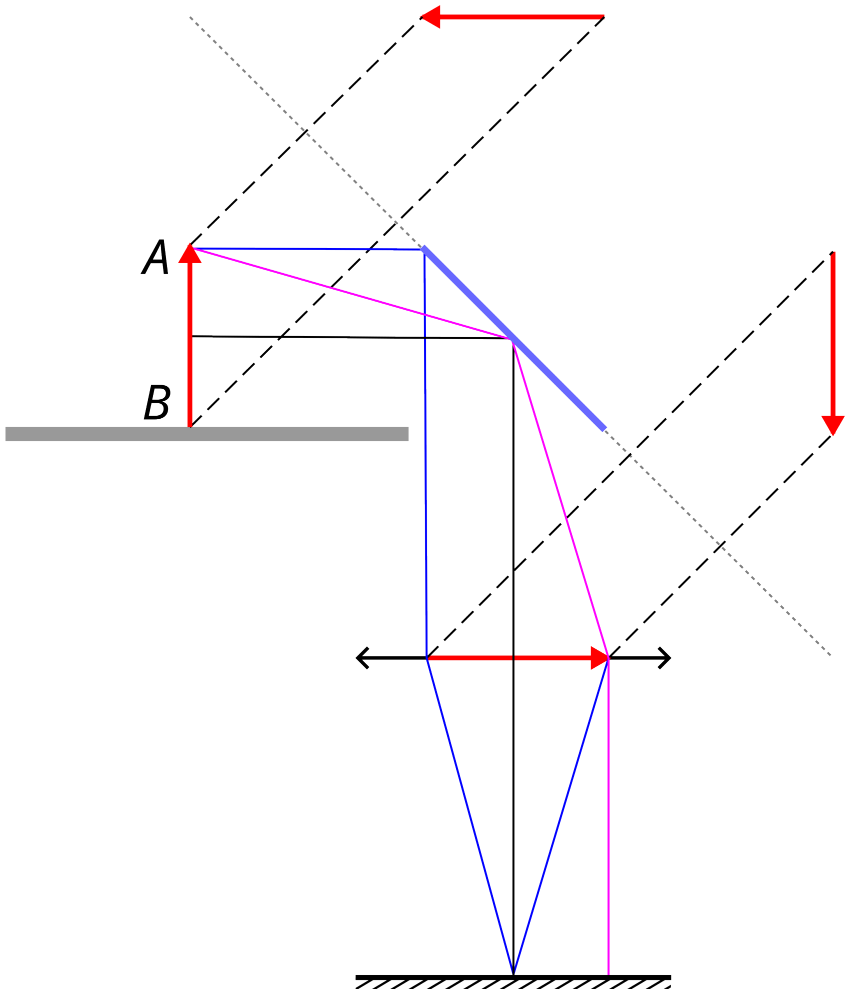
6. (*LÄÄTS JA KAKS PEEGLIT*) (*10 p.*) *Autor: Aigar Vaigu*

Tõmbame punktist A väljuva horisontaalse sinise kiire, pärast poolläbilaskvas peeglis peegeldumist on see vertikaalne, läätses koondab selle optilisele peateljele, kus see peegeldub ning jõuab läätseni tagasi. Teiseks kiireks tõmbame lilla kiire punktist A poolläbilaskva peegli keskpunkti, pärast läätse läbimist liigub see edasi otse (kuna läätse fookus on poolläbilaskva peegli keskpunktis) ning lõikub läätse tasandis algse kiirega. Selle punkti näol on tegu A kujutisega. Analoogselt konstrueerime punkti B kujutise läätse tasandis. Objekti AB kujutis läätse tasandis on sama suur kui oli algne kujutis. Tasub märkida, et seda kujutist näeb ülevalt vaadates (kui oleks tegu tavalise peegliga näeks seda ainult poolläbilaskva peegli ja läätse vahel asudes).

Nii algsel objektil kui selle kujutisel läätse tasandis on ka kujutised poolläbilaskvas peeglis nagu oleks neil tavalistes peeglites. Konstrueerime ka need.

Kokku tekib kolm kujutist. Ülemist kujutist näeb altpoolt poolläbilaskvat peeglit vaadates. Parempoolset kujutist näeb vasakult poolt poolläbilaskvat peeglit vaadates. Nagu juba mainitud, siis kujutist läätse tasandis näeme vaadates ülevaltpoolt.

Kuna siin skeemis on poolläbilaskev peegel, siis kujutised on mõnevõrra tumedamad võrreldes tavalise peegliga. Alumine kujutis 2 korda tumedam vaadates seda poolläbilaskva peegli ja läätse vahelt ning 4 korda tumedam vaadates seda läbi poolläbilaskva peegli. Parempoolne ja ülemine kujutis on mõlemad 4 korda tumedamad.



7. (*ELEKTRIKARJUS*) (*10 p.*) *Autor: Jaan Kalda*

Kui elektrikarjuse traat on maapinnast isoleeritud, siis seal voolu pole, pingelangu pole ja järelikult on pinge maa suhtes võrdne elektromotoorjõuga, Seega $\mathcal{E} = 15\,\mathrm{kV}$.

Kui inimene puudutab traati, siis ta sisuliselt lühistab selle, st elektromotoorjõule langeb selle sisetakistus.

Skeem: elektromotoorjõud $\mathcal{E}$ sisetakistusega R on ühendatud takistile r. Järelikult $R_{\min} + r = \mathcal{E}/I_{\max} = 500\,\mathrm{k\Omega}$. Näeme, et $r \ll R_{\min}$, seega $R_{\min} \approx \mathcal{E}/I_{\max} = 500\,\mathrm{k\Omega}$.

8. (*PIKIVAHE*) (*10 p.*) *Autor: Jaan Kalda*

Alustuseks paneme tähele, et ajahetkel t on esimese auto läbitud vahemaa leitav graafiku aluse pindalana hetkeni t ning teise auto läbitud vahemaa — graafiku aluse pindalana hetkeni $t-\tau$. Seetõttu on pikivahe muutus leitav vahemikku $t-\tau$ kuni t jääva graafikuosa aluse pindala $S(t)$ abil: ajahetkest t_1 kuni ajahetkeni t_2 on pikivahe muutus võrdne suurusega $S(t_2)-S(t_1)$.

Seega on pikivahe minimaalne sellisel hetkel t_1, mil $S(t_1)$ on minimaalne ning pikivahe on maksimaalne hetkel t_2, mil $S(t_2)$ on maksimaalne. Paneme tähele, et $S(t)$ on ekstremaalne, kui $v(t)=v(t-\tau)$.

Selle tähelepaneku abil leiame graafikult, et $t_1 = 11{,}2\,\mathrm{s}$ ja $t_2 = 28{,}7\,\mathrm{s}$. Vastavad graafikualused pindalad on $S(t_1) = 50\,\mathrm{s}\cdot\mathrm{km/h} = 13{,}9\,\mathrm{m}$ ning $S(t_1) = 189\,\mathrm{s}\cdot\mathrm{km/h} = 52{,}5\,\mathrm{m}$. Seega on otsitav pikivahe muutus $38{,}6\,\mathrm{m}$

9. (*KOOLIMINEK*) (*12 p.*) *Autor: Kaarel Hänni*

Koolist kauguse a pealt koos alustades saavad koer ja inimene järmisel korral kokku kauguse $a/3$ juures, kusjuures selle aja jooksul jooksis koer kooli suunas $\frac{a}{a+a/3}=\frac{3}{4}$ ajast. Kuna terve koera trajektoori saab sellisteks juppideks jagada, jookseb koer kooli suunas $\frac{3}{4}$ ajast.

Kuna kass jookseb omil jalul täpselt siis, kui koer kooli suunas jookseb, jookseb kass samuti $\frac{3}{4}$ ajast. Kuna inimene läbib terve aja jooksul $10\,\mathrm{km}$ ja kass jookseb temast $2\cdot 2=4$ korda kiiremini, siis jookseb kass kokku $10\cdot 4\cdot\frac{3}{4}=30\,\mathrm{km}$.

10. (*PEEGEL KORIDORIS*) (*12 p.*) *Autor: Sandra Schumann*

Peeglist on võimalik näha rohelisel seinal olevat ala, mille servadest jõuavad valguskiired Jutani läbi peegli servade. Kuna Juta on koridori kollasele seinale 2 korda lähemal kui roheline sein, saame sarnaseid kolmnurki kasutades, et nähtav ala liigub mööda rohelist seina 2 korda kiiremini kui Juta mööda koridori kesktelge ehk kiirusega $2v$ (Juta liikumisele täpselt vastassuunas).

Samuti sarnaseid kolmnurki kasutades leiame, et selle nähtava ala laius rohelisel seinal on $3L$.

Seega liigub valgustäpp nähtava ala suhtes kiirusega $v-2v=-v$ oma liikumissuunas, ehk kiirusega v Juta liikumissuunas.

Seega viibib valgustäpp alas, mida Jutal on võimalik peeglist näha,

$$t=\frac{3L}{v}=\frac{3\cdot 0{,}5\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{m/s}}=1{,}5\,\mathrm{s}.$$

E1. (*ERISOOJUS*) (*12 p.*) *Autor: Erkki Tempel, Jaan Kalda*

Kaalume kalorimeetri sisemise topsi massi m_k ning metallkeha massi m_m.

Valmistame jääst jäävee. Sukeldame metallkeha jäävette ning hoiame teda seal kuni soojustasakaalu saabumiseni. Mõõdame jäävee temperatuuri t_j, mis on ka metallkeha temperatuuriks.

Valame kalorimeetrisse toasooja vett ning mõõdame vee temperatuuri t_1. Kaalume kalorimeetris oleva vee massi m_v

Tõstame metallkeha jääveest kalorimeetrisse ning ootame soojustasakaalu saabumiseni. Mõõdame uuesti vee temperatuuri t_2.

Metallkeha erisoojuse saame leida seosest

$$Q_m = Q_v + Q_k$$

$$c_m \cdot m_m \cdot (t_2 - t_v) = c_v \cdot m_v \cdot (t_1 - t_2) + c_k \cdot m_k \cdot (t_1 - t_2)$$

$$c_m = \frac{c_v \cdot m_v \cdot (t_1 - t_2) + c_k \cdot m_k \cdot (t_1 - t_2)}{m_m \cdot (t_2 - t_v)}$$

E2. (*HÕÕGNIIDI PIKKUS*) (*14 p.*) *Autor: Jaan Kalda*

Asetame ekraani nii kaugele lambist, kui töölaud võimaldab (nt 70 cm), lülitame sisse lambi ja leiame läätsele lambi lähedal niisuguse asendi, et ekraanil tekiks hõõgniidi terav suurendatud kujutis.

Mõõdame läätse tasandi ja ekraani vahelise vahemaa b. Samuti mõõdame kujutise pikkuse l, laiuse d ning heeliksi keerdude koguarvu N. Viimase jaoks võime lugeda keerdude arvu n mingil lõigul pikkusega h ning arvutada $N = n \cdot l/h$.

Nüüd on vaja teha veel kindlaks läätse ja hõõgniidi vahekaugus a. Seda ei saa vahetult teha, sest lamp on korpuses. Seetõttu paigutame läätse ümber ekraani lähedale (muutmata seejuures lambi ja ekraani asukohti) ning saavutame jällegi terava kujutise. Tulenevalt kiirte pööratavusest on uues olukorras läätse ja ekraani vahekaugus a, mille saame nüüd vahetult üle mõõta. Niidi kogupikkuse leiame valemist $L = \pi d N a/b$.