Eesti koolinoorte 57. füüsikaolümpiaad

16. jaanuar 2010. a. Piirkondlik voor. Põhikooli ülesannete lahendused

Eessõna

Allpool on toodud iga ülesande üks õige lahenduskäik (mõnel juhul ka enam). Kõik alternatiivsed õiged lahenduskäigud tuleb hinnata samuti maksimumhindega. Iga alternatiivse lahenduskäigu jaoks tuleb kontrollijatel koostada hindamisskeem, juhindudes võimalusel juuresoleva hindamisskeemi punktijagamisproportsioonist. Soovituslikud maha-arvamise punktid: numbriline arvutusviga — 0,5; viga teisendustes — 0,5 p. (märgi jms väiksem viga) või 1 p. (viga, mis viib dimensioonide konfliktini), maha arvata ainult üks kord, st edasikanduvat viga mitte karistada; kui vastus tuleb füüsikaliselt absurdne, siis võib täiendavalt karistada 0,5 punktiga; üksik viga lähtevalemis: 0,5 p. (kui märgiviga) kuni 50% (sisuline viga).

1. (*LIIKLUSHULIGAAN*)

Liiklushuligaan sõidab Tallinnast Tartusse kauem, sest sel sõidusuunal on kaks kiiruskaamerat rohkem kui vastassuunas. Teel Tallinnast Tartusse sõitis liiklushuligaan kiirusega $v_1 = 80$ km/h kaks kilomeetrit rohkem kui vastassuunas. Vastassuunas sõites läbis liiklushuligaan need kaks kilomeetrit kiirusega $v_2 = 120$ km/h.
[**1 p.**]

Leiame, kui palju erinevad vahemaa $2s = 2$ km läbimiseks kulunud ajad, sõites kiirusega v_1 ja sõites kiirusega v_2:

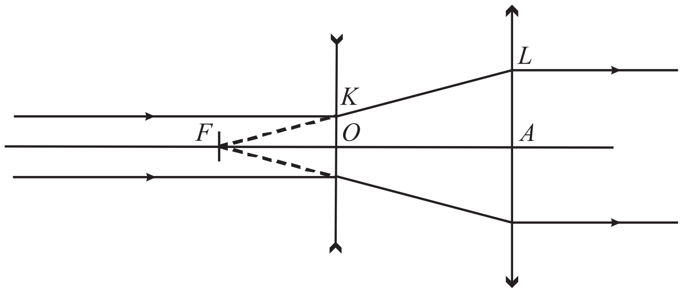
$$t = \frac{2s}{v_1} - \frac{2s}{v_2}, \quad [\mathbf{3\ p.}]$$

kust $t = 0{,}5$ min. Seega sõitis liiklushuligaan Tallinnast Tartusse 0,5 minutit kauem kui Tartust Tallinnasse. [**2 p.**]

2. (*LENNUKID*)

Teisendame kiirused: $v_1 = 330$ m/s ja $v_2 = 280$ m/s. [**1 p.**]
Lennukite kiirus teineteise suhtes on $v = v_1 + v_2 = 610$ m/s. [**1 p.**]
Kuulipilduja teeb sekundis 70 lasku ja kahe lasu vaheline aeg on $t = \frac{1}{70}$ s. [**1 p.**]
Teine lennuk liigub esimese lennuki suhtes kahe kuuli vahelisel ajal $s = vt$. [**1 p.**]
Kuuliaukude vahe lennuki keres on seega $s = 610 \cdot \frac{1}{70} = 8{,}7$ m. [**1 p.**]
Vastus ei sõltu lennukite kaugusest teineteisest. [**1 p.**]

3. (*KIIRTEKIMBU LAIENDI*)



Idee ja joonis (kuna optilise tugevuse väärtusest selgub, et üks läätsedest on nõgusläätს, on esimene läätsedest on nõgus-, teine kumerlääts; läätsede fookused paigutuvad samasse punkti ühtsel optilisel peateljel.) [**3 p.**]
Kolmnurkade KOF ja LAF sarnasusest saame, et $\frac{LA}{KO} = \frac{AF}{OF}$. Kuna $LA = 2{,}5\,KO$, siis ka $AF = 2{,}5\,OF$. [**2 p.**]
Nõgusläätse fookuskauguse arvutamine $f = -5$ cm. [**1 p.**]
Kumerläätse fookuskaugus $f = 12{,}5$ cm. [**1 p.**]
Läätsede kaugus teineteisest $d = 7{,}5$ cm. [**1 p.**]

4. (*JALGRATTURID*)

Arvutame kummagi jalgratta ülekandearvu:

$$Z_1 = \frac{51}{15} = 3{,}4, \qquad Z_2 = \frac{48}{13} = 3{,}7 \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

Jalgratturid teevad distantsi läbimiseks pedaalipöördeid vastavalt $n_1 = \frac{1000}{3{,}4c}$ ja $n_2 = \frac{1000}{3{,}7c}$, kus c tähistab tagumise ratta ümbermõõtu. [**2 p.**]

Kuivõrd mõlemad jalgratturid väntavad sama sagedusega, siis jõuab enne kohale see, kes teeb vähem vändapöördeid, seega teine jalgrattur. [**1 p.**] Esimene rattur teeb

$$n = \frac{n_1}{n_2} = \frac{3{,}7}{3{,}4} = 1{,}088$$

korda rohkem pöördeid, järelikult kulutab ta ka aega 1,088 korda rohkem. [**2 p.**]

Teisel ratturil kulub distantsi läbimiseks $t_2 = \frac{1000\ \mathrm{m}}{10\ \mathrm{m/s}} = 10$ s. [**1 p.**] Esimesel kulub distantsi läbimiseks $t_1 = 100\ \mathrm{s} \cdot 1{,}088 = 108{,}8$ s, seega 8,8 sekundit rohkem kui teisel ratturil. [**1 p.**]

5. (*TRAAT*)

Traadi takistus on $R = \frac{U}{I} = 20\ \Omega$. [**2 p.**] Takistuse valem on $R = \rho\frac{l}{S}$ [**1 p.**]; massi, tiheduse ja ruumala seosest $m = dlS$. [**1 p.**] Teisendame neid seoseid:

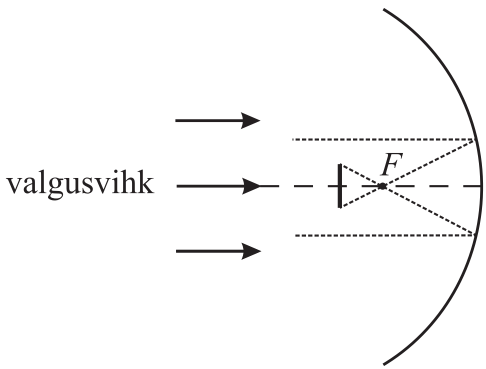
$$S = \frac{\rho l}{R}, \qquad S = \frac{m}{dl}. \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

Seega

$$\frac{\rho l}{R} = \frac{m}{dl} \quad \Rightarrow \quad l = \sqrt{\frac{Rm}{\rho d}}. \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

Arvuliselt $l = 102$ m. [**1 p.**]

6. (*VALGUSE KOGUMINE*)



1) Leiame ketta peeglipoolsele küljele jõudva kiirtekimbu raadius konstrueerimise teel. Selleks tõmbame joone ketta servast läbi peegli fookuse peegli pinnani. Tulemuseks saadud raadiuse R' võib joonlauaga mõõta (tuleb ligikaudu 1,1 cm). [**4 p.**]

2) Ketta peeglipoolsele küljele jõudva kiirtekimbu ristlõikepindala on konstrueerimisel saadud raadiusega kiirtekimbu ristlõikepindala (enne peegli pinnani jõudmist) ja ketta ristlõikepindala vahe. [**2 p.**]

3) Jagame saadud pindala algse kiirtekimbu ristlõikepindalaga: [**1 p.**]

$$\frac{R'^2 - r^2}{R_v^2} = \frac{1{,}1^2 - 0{,}5^2}{1.5^2} \approx 0{,}43. \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

7. (*GLÜTSERIIN*)

Ajavahemikus Δt kehtib soojusliku tasakaalu võrrand

$$P\Delta t = c\rho V\Delta T, \quad [\mathbf{2{,}5\ p.}]$$

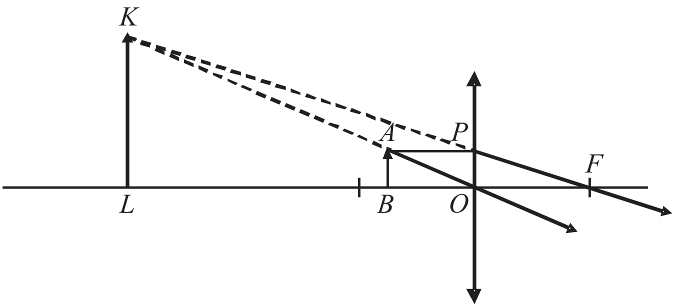
kus ΔT on temperatuuri muut. Ruumala muut

$$\Delta V = V\alpha\Delta T = V\alpha \cdot \frac{P\Delta t}{c\rho V} = \frac{P\alpha\Delta t}{c\rho}. \quad [\mathbf{2{,}5\ p.}]$$

Üleliigne ruumala glütseriini väljub ava kaudu, moodustades silindri pikkusega $v\Delta t$ ja ruumalaga $\Delta V = vS\Delta t$ [**2,5 p.**]. Seega,

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t S} = \frac{P\alpha}{cS\rho} \approx 1{,}7\,\mathrm{m/s}. \quad [\mathbf{2{,}5\ p.}]$$

8. (*LUUP*)



Esemest AB kujutise KL konstrueerimine luubis. [**2 p.**] Joonisest lähtuv lahenduse idee. [**1 p.**]

Leiame sarnastest kolmnurkadest KLO ja ABO kujutise ja eseme kauguste jagatise $\frac{KL}{AB} = \frac{LO}{BO}$. Kuna $KL = 4\,AB$, siis järelikult ka $LO = 4\,BO$. [**2 p.**]

Leiame eseme kauguse läätsest. Jooniselt on näha, et lõigud AB ja OP on võrdsed, $AB = OP$. [**1 p.**] Sarnaste kolmnurkade KLF ja OPF abil saame kujutise kauguse seostada luubi fookuskaugusega OF. Seosest $\frac{KL}{PO} = \frac{LF}{OF}$ selgub, et $LF = 4\,OF$. [**2 p.**] Kujutise kaugus läätsest on seega kolm fookuskaugust ehk 18 cm. [**1 p.**]

Eseme kaugus läätsest on 4 korda väiksem kujutise kaugusest, seega 4,5 cm. [**1 p.**]

<u>*Märkus*</u>. Lahendus läätse valemiga annab maksimaalselt [**4 p.**].

9. (*SAUN*)

a) Kui tuba enam ei soojene, on kerise võimsus energia jäävuse seaduse järgi võrdne soojuskadude omaga. [**1 p.**] Antud seinte puhul määrab kadude võimsus üheselt temperatuurivahe sees ja väljas, sõltumata välistemperatuurist. Järelikult on sise- ja välistemperatuuri vahe ikka 90 °C − 0 °C = 90 °C ning sisetemperatuur

$$-20\ °\mathrm{C} + 90\ °\mathrm{C} = 70\ °\mathrm{C}. \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

b) Maja seinad on $3^2 = 9$ korda suurema pindalaga kui sauna omad. [**1 p.**] Tekib võrrandisüsteem

$$\begin{cases} P_{\mathrm{keris}} = kS_{\mathrm{saun}}\,\Delta T_{\mathrm{keris\ saunas}} \\ P_{\mathrm{rad.}} = k \cdot \underbrace{9S_{\mathrm{saun}}}_{S_{\mathrm{maja}}}\,\Delta T_{\mathrm{rad.\ majas}} \\ P_{\mathrm{keris}} + P_{\mathrm{rad.}} = k \cdot 9S_{\mathrm{saun}}\,\Delta T_{\mathrm{rad.\ \&\ keris\ majas}} \end{cases} \qquad [\mathbf{2\ p.}]$$

(k on võrdetegur, täpsemalt seinte soojusjuhtivustegur). Siit

$$\begin{aligned} \Delta T_{\mathrm{rad.\ \&\ keris\ majas}} &= \frac{1}{9}\Delta T_{\mathrm{keris\ saunas}} + \Delta T_{\mathrm{rad.\ majas}} = \\ &= \frac{1}{9} \cdot 90\ °\mathrm{C} + [15\ °\mathrm{C} - (-20\ °\mathrm{C})] = 45\ °\mathrm{C}, \\ T_{\mathrm{rad.\ \&\ keris\ majas}} &= -20\ °\mathrm{C} + 45\ °\mathrm{C} = 25\ °\mathrm{C} \quad [\mathbf{1\ p.}] \end{aligned}$$

c) **Esimene lahendus.** Võrrandisüsteemi esimese kahe võrrandi põhjal ($P_{\mathrm{keris}} \equiv P$)

$$P_{\mathrm{rad.}} = 9\frac{\Delta T_{\mathrm{rad.\ majas}}}{\Delta T_{\mathrm{keris\ saunas}}} P_{\mathrm{keris}} \quad [\mathbf{3\ p.}]$$

arvuliselt

$$P_{\mathrm{rad.}} = 9 \cdot \frac{15\ °\mathrm{C} - (-20\ °\mathrm{C})}{90\ °\mathrm{C} - 0\ °\mathrm{C}} \cdot 4\ \mathrm{kW} = 14\ \mathrm{kW} \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

Teine lahendus. Osas *b)* arvutatu põhjal tõstab radiaator majas temperatuuri $\Delta T_{\mathrm{rad.\ majas}} = 35\ °\mathrm{C}$ võrra ning keris veel $T_{\mathrm{rad.\ \&\ keris\ majas}} - T_{\mathrm{rad.\ majas}} = 10\ °\mathrm{C}$ võrra. Need temperatuuritõusud on võrdelised vastavate võimsustega, [**3 p.**] järelikult on radiaatorid kerisest $\frac{35\ °\mathrm{C}}{10\ °\mathrm{C}} = 3{,}5$ korda võimsamad, võimsusega $3{,}5 \cdot 4\ \mathrm{kW} = 14\ \mathrm{kW}$. [**1 p.**]

10. (*PLEKKKUUBID*)

Olgu selle kuubi, mis upub, kui temast $\alpha = 90\%$ on tühi, seinte mass m ja ruumala V. Archimedese seaduse põhjal hakkab objekt uppuma, kui ta tihedus saab suuremaks vee tihedusest ρ_v (piirjuhul võrdseks):

$$\frac{m + \rho_v(1-\alpha)V}{V} = \rho_v \implies \frac{m}{V} = \alpha\rho_v. \qquad (\star)$$

Teine kuup võiks olla nii väiksem kui suurem. Oletame algul, et ta on väiksem. Siis on selle kuubi ruumala $\frac{1}{8}V$. Kuubi seinte mass on võrdeline nende pindalaga, mis on omakorda võrdeline küljepikkuse ruuduga. Et teise kuubi küljepikkus on esimese omast $\sqrt[3]{8} = 2$ korda väiksem, on ta pindala $2^2 = 4$ korda väiksem ning seinte mass seega $\frac{1}{4}m$. Kirjutame analoogiliselt uppumahakkamise tingimuse, kus β tähistagu otsitavat õhu osa teises kuubis.

$$\frac{\frac{1}{4}m + \rho_v(1-\beta)\frac{1}{8}V}{\frac{1}{8}V} = \rho_v \implies \frac{2m}{V} = \beta\rho_v.$$

Võrrandist $(\star)$ $\rho_v = \frac{m}{\alpha V}$, seega $\beta = 2\alpha = 180\% > 100\%$, mis on võimatu. Järelikult upuks teine kuup väiksemana juba ilma vett lisamatagi, vastuolus öelduga, et kuubid ujuvad.

Oletame nüüd, et teine kuup on suurem, ruumalaga $8V$ ja massiga $4m$. Uppumahakkamise tingimus on siis

$$\frac{4m + \rho_v(1-\beta)8V}{8V} = \rho_v \implies \frac{m}{2V} = \beta\rho_v.$$

Siit $\beta = \frac{1}{2}\alpha = 45\%$, mis jääbki ainsaks, üheseks vastuseks.

<u>*Hindamine*</u>: Tiheduse definitsiooni $\rho = \frac{m}{V}$ teadmine — [**1 p.**]
Teadmine, et uppumise piiril saab objekti tihedus võrdseks vee omaga — [**1 p.**]
Mõistmine, et seinte mass on võrdeline nende pindalaga — [**2 p.**]
Seos pindala ja ruumala skaleerumise vahel — [**2 p.**]
Uppumahakkamise tingimus mingi kuubi jaoks võrrandina — [**2 p.**]
Ühe juhu jaoks teise võrrandi kirjutamine nii, et võrrandisüsteemist oleks võimalik leida vastus — [**1 p.**]
Teise juhu jaoks analoogiline võrrand — [**1 p.**]
Võrrandisüsteemide lahendamine ja arvulised vastused — [**1 p.**]
Mittefüüsikalise vastuse interpretatsioon ja kõrvalejätmine — [**1 p.**]

E1. (*KALDTEE*)

Katse kirjeldus, mida ja kuidas mõõdab [**2 p.**].
Katse läbiviimine erinevate tee nurkade korral: 3 erinevat nurka [**1 p.**], üle 3 nurga [**2 p.**].
Vähemalt kolme mõõtmise läbiviimine sama nurga korral [**1 p.**].
Tulemuste esitamine tabelina [**1 p.**].
Tulemus on õiges suunas, st jõud kasvab kaldenurga suurenedes [**1 p.**].
Graafik telgede õige valiku ja ühikutega [**3 p.**].

E2. (*TIKU MASS*)

Esmalt määrame joonlaua massikeskme asukoha. Selleks jagame skaala pooleks või tasakaalustame joonlaua tiku või laua serval ja paneme kirja tiku asukoha näidu joonlaual. [**1 p.**]

Järgmisena määrame tühja tikutopsi massi. Asetame tühja tikutopsi joonlauale võimalikult otsa lähedale ja leiame topsi keskoha asukoha. Viimase saamiseks tuleks võtta topsi mõlema serva näidud ja arvutada aritmeetiline keskmine. [**1 p.**] Tasakaalustame joonlaua ja paneme kirja toetuspunkti asukoha. [**1 p.**] Saadud tulemuste põhjal arvutame joonlaua massikeskme ja tikutopsi massikeskme kaugused toetuspunktist l_1 ja l_2. Kangi seaduse tõttu:

$$m_1 g l_1 = m_2 g l_2 \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

ja tühja toosi massiks saame

$$m_2 = \frac{m_1 l_1}{l_2}. \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

Kordame katset täis tikutopsiga. [**3 p.**] Ühe tiku massi leidmiseks tuleb täis tikutopsi massist lahutada tühja topsi mass ning jagada saadud tulemus topsis olnud tikkude arvuga:

$$m_{\text{tikk}} = \frac{m_{\text{täis}} - m_{\text{tühi}}}{n}. \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

Realistlik vastus ($m_{\text{tikk}} = 0{,}1$ g) [**1 p.**]