

Eesti koolinoorte 64. füüsikaolümpiaad

28. jaanuar 2017. 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. (REHVID) (6 p.) Autor: EFO žürii.

Kui auto rattad teevad ühe täispöörde, läbib auto $c_1 = \pi d_1$ meetrit, kus d_1 on õigete rataste läbimõõt [**1 p.**].

Spidomeeter loeb rataste pöorete arvu. Kiiruse $v_1 = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$ juures on auto rataste pöorete arv sekundis

$$n_1 = \frac{v_1 t}{\pi d_1},$$

kus $t = 1 \text{ s}$ ja d_1 on auto rehvide läbimõõt õigete rehvide korral [**2 p.**].

Valede rehvidega on auto kiirus

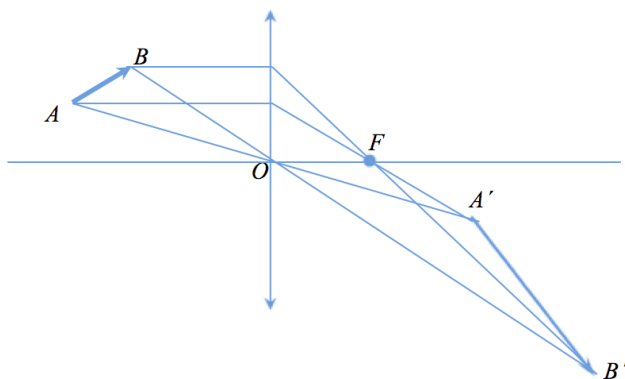
$$v_2 = \frac{n_1 \pi d_2}{t} = \frac{v_1 t \pi d_2}{\pi d_1 t} = \frac{v_1 d_2}{d_1}. \quad [\mathbf{2 \text{ p.}}]$$

Kuna d_2 on suurem kui d_1 , siis valede rehvide korral sõidab auto kiiremini kui näitab spidomeeter [**1 p.**].

Seega läbib auto valede rehvidega sõites 1 km pikkuse vahemaa kiiremini ja ajavõit

$$t = \frac{s}{v_1} - \frac{s}{v_2}; \quad [\mathbf{1 \text{ p.}}] \quad t \approx 1,53 \text{ sekundit} \quad [\mathbf{1 \text{ p.}}].$$

2. (KUJUTIS LÄÄTSEGA) (8 p.) Autor: EFO žürii.



Joonistab läätse optilise peatelje, mis on risti läätsega ja läbib läätse fookuse, et määrata läätse optiline keskpunkt O [2 p.].

Joonistab punktist A' kiire, mis läbib läätse optilise keskpunkti [1 p.].

Joonistab punktist A' kiire, mis läbib läätse fookuse ja pärast läätse on paralleelne optilise peateljega [1 p.].

Kiirte lõikepunkt on eseme punkt A [1 p.].

Sama punkti B' korral [3 p.].

3. (UJUMINE KANALIS) (8 p.) Autor: EFO žürii.

Olgu veevoolu kiirus kanali esimeses pooles u . Kuna kanal on teises pooles kaks korda kitsam, kuid sama sügav, siis voolab seal vesi kaks korda kiiremini, seega on veevoolu kiirus kanali teises pooles $2u$ [2 p.].

Juku kiirus kanali esimeses pooles on $v + u$ [1 p.] ning teises pooles $v + 2u$ [1 p.]. Kuna me teame, et Juku läbis kanali esimese poole ajaga t_1 ning teise poole ajaga t_2 , saame kirjutada seosed

$$t_1 = \frac{0,5l}{v + u} \quad [1 \text{ p.}] \quad \text{ja} \quad t_2 = \frac{0,5l}{v + 2u}. \quad [1 \text{ p.}]$$

Avaldades esimesest võrrandist u ning asendades teise võrrandisse, saame

$$u = \frac{0,5l - t_1 v}{t_1} \quad [1 \text{ p.}]$$

$$v = \frac{l(2t_2 - t_1)}{2t_1 t_2} = \frac{l}{t_1} - \frac{l}{2t_2}. \quad [1 \text{ p.}]$$

4. (LÄÄTSEDE SÜSTEEM) (8 p.) Autor: EFO žürii.

Valemist $f = \frac{1}{D}$ [1 p.] selgub, et esimese läätse fookuskaugus on 10 cm ja teise läätse fookuskaugus 20 cm [1 p.]. Kuivõrd ese asub esimesest läätsest 20 cm kaugusel, asub ese täpselt 2 fookuskauguse kaugusel läätsest [1 p.]. Kui ese asub kahe fookuskauguse kaugusel läätsest, asub ka selle kujutis kahe fookuskauguse kaugusel läätsest, on ümberpööratud ja eseme suurune [1 p.]. Kuna läätsede kaugus teineteisest on 60 cm, asub esimese läätse poolt tekitatud eseme kujutis teisest läätsest täpselt kahe fookuskauguse kaugusel [1 p.]. Seega tekitab läätsede süsteem kujutise, mis asub teisest läätsest 40 cm kaugusel [1 p.], on eseme suurune [1 p.] ja esemega võrreldes päripidine [1 p.].

5. (KUULIKESED) (8 p.) Autor: EFO žürii.

Tähistame anuma ruumala V ning kuulikeste ruumala V_k . Sellisel juhul on vasest kuulikeste mass anumal

$$m_{Cu} = \rho_{Cu}V_k. \quad [1 \text{ p.}]$$

Teises anumal on kaadmiumist kuulikesed massiga

$$m_{Cd} = \rho_{Cd}V_k \quad [1 \text{ p.}]$$

ning vesi massiga m_v , mis täidab tühimikud $V_v = V - V_k$ [1 p.] kaadmiumi kuulikeste vahel

$$m_v = \rho_v(V - V_k). \quad [1 \text{ p.}]$$

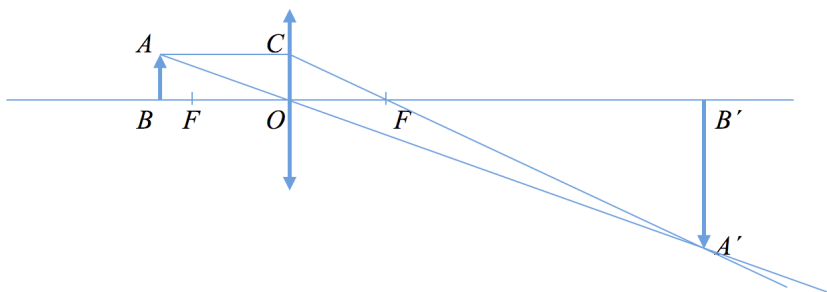
Kangkaal on tasakaalus, kui mõlemas anumal on mass sama suur $m_{Cu} = m_{Cd} + m_v$ [1 p.]

$$\rho_{Cu}V_k = \rho_{Cd}V_k + \rho_v(V - V_k). \quad [1 \text{ p.}]$$

Avaldades viimasest seosest kuulikeste ja anuma koguruumala suhte k

$$k = \frac{V_k}{V} = \frac{\rho_v}{\rho_{Cu} - \rho_{Cd} + \rho_v} \quad [1 \text{ p.}]; \quad k \approx 0,71. \quad [1 \text{ p.}]$$

6. (DIAPROJEKTOR) (10 p.) Autor: EFO žürii.



Joonis. [2 p.]

Tähistame slaidi kauguse objektiivist BO tähega a ,

kujutise kauguse objektiivist OB' tähega k ,

objektiivi fookuskauguse tähega f ,

slaidi AB kõrguse tähega h ja kujutise $A'B'$ kõrguse tähega H .

Kolmnurgad $\triangle ABO$ ja $\triangle OB'A'$ on sarnased, nurkade võrdsuse tunnuse järgi [1 p.].

Kolmnurkade sarnasusest tuleneb, et $\frac{H}{h} = \frac{k}{a}$ [1 p.].

Kuna kujutise suurendus $\frac{H}{h}$ on 80 korda, siis $k = 80a$ [1 p.].

Eseme kõrgus AB on võrdne lõiguga OC [1 p.].

Sarnastest kolmnurkadest $\triangle OCF$ ja $\triangle OB'A'$ [1 p.] saame, et

$$\frac{H}{h} = \frac{k - f}{f} \quad \text{ehk} \quad k = 81f \quad [1 \text{ p.}]$$

Asendame saadud k väärtuse seosesse $k = 80a$, saame

$$a = \frac{k}{80} = \frac{81}{80}f. \quad [1 \text{ p.}]$$

Asendades fookuskauguse väärtuse, saame, et $a = 40,5$ mm. Kuna fookuskaugus on 40 mm, asub slaid fokaaltasandist 0,5 mm kaugusel [1 p.].

Läätse valemi kasutamine lahendamisel on lubatud.

7. (KALAPÜÜK) (10 p.) Autor: EFO žürii.

Jaagu kiirus $v_1 = 24$ km/h,

Jüri kiirus $v_2 = 20$ km/h,

Voolu kiirus $v_j = 2$ km/h.

Sõiduaeg kalastuskohta $t_1 = 0,5$ h.

Õngitsemise aeg $t_{\bar{o}} = 1$ h.

Jüri kojusõidu aeg $t_{\text{jüri}}$.

Jaagu kalastamise aeg, kui Jüri juba koju sõitis t_k .

Jüri oli enne kojusõitu külast $s_{\text{jüri}} = (v_2 + v_j)t_1 + v_j t_{\bar{o}} = 13$ km kaugusel [2 p.].

Jaak oli enne Jüri kojusõitu külast $s_{\text{jaak}} = (v_1 - v_j)t_1 - v_j t_{\bar{o}} = 9$ km kaugusel [2 p.].

Jüri sõitis koju ajaga

$$t_{\text{jüri}} = \frac{s_{\text{jüri}}}{(v_2 - v_j)} \approx 0,722 \text{ h.} \quad [1 \text{ p.}]$$

Jaak võis veel kala püüda ajavahemiku t_k . Selle aja jooksul liikus paat allavoolu ja tema kodutee lühenes [1 p.].

Jaagu kalapüügi ja kojusõiduaeg kokku on võrdne Jüri kojusõidu ajaga

$$t_{\text{jüri}} = t_k + \frac{s_{\text{jaak}} - v_j t_k}{(v_1 + v_j)}. \quad [2 \text{ p.}]$$

Avaldame seosest kalapüügiaja $t_k = (v_1 + v_j)t_{\text{jüri}} - s_{\text{jaak}}/v_1$ [1 p.].

Arvutame kalapüügiaja $t_k \approx 0,407$ tundi ≈ 24 minutit [1 p.].

8. (JÕULUTULED) (10 p.) Autor: EFO žürii.

Arvutame võimsuse valemist $N = \frac{U^2}{R}$ takistuse $R = \frac{U^2}{N}$ [1 p.].

Arvutame erinevate lampide takistused:

12 V, 1 W lambi takistus $R_1 = 144 \Omega$,

24 V, 1 W lambi takistus $R_2 = 576 \Omega$,

24 V, 5 W lambi takistus $R_3 = 115 \Omega$,

kõik takistused õigesti arvatatud [2 p.].

1. Kui pesasse keerata lamp "24 V, 1 W", siis on lampide kogutakistus $R_{\text{kogu}} = 19 R_1 + R_2 = 3312 \Omega$. Seega voolutugevus lampides on

$$I = \frac{U}{R_{\text{kogu}}} \approx 0,072 \text{ A.}$$

Iga vana lambi võimsus on nüüd $N = I^2 R_1 = 0,75 \text{ W}$.

Voolu võimsus uues lambi on 3 W [2 p.].

2. Kui pesasse keerata lamp "24 V, 5 W", siis on lampide kogutakistus $R_{kogu} = 19R_1 + R_3 = 2851 \Omega$. Seega voolutugevus lampides on

$$I = \frac{U}{R_{kogu}} \approx 0,084 \text{ A}.$$

Iga vana lambi võimsus on nüüd $N = I^2 R_1 = 1 \text{ W}$.

Voolu võimsus uues lambis on $0,81 \text{ W}$ [2 p.].

Jüri valis lambi "24 V, 5 W" [1 p.]. Sel juhul kõik teised lambid põlesid sama heledusega kui enne, uue lambi hõõgniit hõõgus väga vaevaliselt.

Kui Jüri oleks valinud lambi "24 V, 1 W", oleks see kohe läbi põlenud, sest voolu võimsus lambis oleks ületanud kolmekordselt lubatud võimsust ja ka teised lambid ei oleks sel juhul põlenud [2 p.].

9. (KUULIKE VEES) (10 p.) Autor: EFO žürii.

Kui jääga kaetud kuulike asetada 5°C vette, hakkab vesi jahtuma ning jää sulama [1 p.]. Vee jahtumisel eraldunud soojus $Q_1 = c_v m_v \Delta T$ [1 p.] läheb jää sulatamiseks $Q_2 = \lambda m_{\text{sulanud jää}}$ [1 p.]. Soojustasakaal saabub siis, kui vee temperatuur on 0°C . Anumas olnud vee mass $m_v = \rho_v V_v = 0,2 \text{ kg}$ [1 p.]. Seega saame seoses $Q_1 = Q_2$ leida sulanud jää massi

$$c_v m_v \Delta T = \lambda m_{\text{sulanud jää}} \Rightarrow m_{\text{sulanud jää}} = \frac{c_v m_v \Delta T}{\lambda} = 12,7 \text{ g}. \quad [1 \text{ p.}]$$

Jääga kaetud kuulikese kogumass $m = 30 \text{ g}$, seega heljuma jäänud kuulikese mass $m_h = 30 \text{ g} - 12,7 \text{ g} = 17,3 \text{ g}$ [1 p.]. Kuna jääga kaetud kuulike heljub, siis peab tema keskmine tihedus ρ_k olema võrdne vee tihedusega $\rho_k = \rho_v$ [1 p.]. Kuulikese keskmise tiheduse ρ_k saame leida valemist

$$\rho_k = \frac{m_j + m_{Cu}}{V_j + V_{Cu}}, \quad [1 \text{ p.}]$$

kus m_j on kuulikese küljes oleva jää mass ning V_j ja V_{Cu} vastavalt jää ja vasest kuulikese ruumalad. Avaldades ruumalad tiheduste kaudu, saame

$$\rho_k = \frac{m_j + m_{Cu}}{\frac{m_j}{\rho_j} + \frac{m_{Cu}}{\rho_{Cu}}} = \frac{\rho_j \rho_{Cu} (m_j + m_{Cu})}{m_j \rho_{Cu} + m_{Cu} \rho_j}.$$

Teades, et $m_j + m_{Cu} = m_h = 17,3 \text{ g}$, saame avaldada vasest kuulikese massi m_{Cu}

$$m_{Cu} = \frac{m_h \rho_{Cu} (\rho_v - \rho_j)}{\rho_v (\rho_{Cu} - \rho_j)}; \quad [1 \text{ p.}] \quad m_{Cu} \approx 1,91 \text{ g.} \quad [1 \text{ p.}]$$

10. (PUNKER) (12 p.) Autor: Mihkel Kree.

Liikugu õhk läbi ventilatsioonitoru kiirusega v . Ajaühikus Δt läbib toru õhuhulk ruumalaga $\Delta V = Sv\Delta t$, kus S on toru ristlõikepindala. Selle õhuhulga mass $\Delta m = \rho Sv\Delta t$ [2 p.]. Ventilaatori võimused läheb toru läbivale õhule kineetilise energia andmiseks [1 p.], mille saame avaldada järgnevalt:

$$N = \frac{\Delta mv^2}{2\Delta t} = \frac{1}{2}\rho Sv^3. \quad [2 \text{ p.}]$$

Tasakaalu korral peab ventilaatori kaudu väljuv õhk suutma ära kanda kogu generaatorist eralduva soojusenergia [1 p.], mille võimsuse saame avaldada järgnevalt:

$$P = \frac{\Delta mc_p(t_1 - t_0)}{\Delta t} = \rho Sv c_p(t_1 - t_0). \quad [2 \text{ p.}]$$

Nendest kahest seosest saame avaldada nõutava toru ristlõikepindala. Selleks peame taandame tundmatu kiiruse v . Seda on mugav teha, kui võtta teine võrrand kuupi ning jagada võrrandid omavahel, millest saame:

$$S^2 = \frac{P^3}{2N\rho^2 c_p^3(t_1 - t_0)^3} \quad \text{ehk}$$

$$S = \sqrt{\frac{P^3}{2N\rho^2 c_p^3(t_1 - t_0)^3}}. \quad [2 \text{ p.}]$$

Siit saame omakorda nõutava toru diameetri $d = \sqrt{4S/\pi}$,

$$d = \sqrt[4]{\frac{8P^3}{\pi^2 N \rho^2 c_p^3 (t_1 - t_0)^3}} \quad \text{ehk} \quad d \approx 4,2 \text{ cm.} \quad [2 \text{ p.}]$$

E1.(MÜNDID)(12 p.) Autor: EFO žürii.

Laome mündid (5 tükki) silindriliselt üksteise otsa ning mõõdame tekkinud silindri kõrguse $H \approx 8$ mm.

Silindri läbimõõdu täpseks mõõtmiseks laome 5 münti üksteise kõrvale ning mõõdame viie münti summaarse läbimõõdu $l = 10,6$ cm. Seega ühe münti läbimõõt d ja raadius r on

$$d = \frac{l}{5} = 2,12 \text{ cm}, \quad r \approx 1,06 \text{ cm}.$$

Müntidest silindri ruumala on seega

$$V = \pi r^2 H \approx 2,82 \text{ cm}^3.$$

Müntidest silindri materjali ruumala leidmiseks leiame viie münti kogumassi M kangimeetodil (viie münti kasutamine annab täpsema tulemuse).

Kõigepealt leiame joonlaua masskeskme kauguse l_{mk} joonlaua ühest otsast. Selleks asetame joonlaua laua servale ning leiame tasakaalupunkti. Müntide silindri massi leidmiseks asetame müntidest silindri ühe kangi otsa peale ning leiame tasakaalupunkti kauguse l_m müntide keskpunktist ning tasakaalupunkti kauguse joonlaua masskeskmest l_j

Kangireeglist saame

$$m_j l_j = M l_m \quad \Rightarrow \quad M = \frac{m_j l_j}{l_m} \approx 19,6 \text{ g}.$$

Kuna müntide materjali tihedus $\rho = 8,0 \text{ g/cm}^3$, siis on müntidest silindri materjali ruumala V_m

$$V_m = \frac{M}{\rho} \approx 2,45 \text{ cm}^3.$$

Seega müntide tornis olevad tühimikud moodustavad koguruumalast

$$p = \frac{V - V_m}{V} \cdot 100 \% \approx 13 \%.$$

Hindamisjuhend

Müntidest silindri kõrguse mõõtmine kasutades viit münti - [2 p.].

Müntide diameetri mõõtmine kasutades viit ridamisi olevat münti - [2 p.]. Kasutades ainult ühte münti - [1 p.]

Müntidest silindri ruumala arvutamine - [1 p.]

Joonlaua massikeskme leidmine - [1 p.]

Müntide massi leidmine kangimeetodil kasutades korruga viit münti - [3 p.]. Kasutades ainult ühte münti - [2 p.]

Müntide materjali ruumala arvutus - [1 p.]

Tühimike ja müntide ruumala suhte leidmine - [1 p.]

Korduskatsed, vähemalt 3 mõõtmist - [1 p.].

E2.(KALORIMEETER)(12 p.) Autor: EFO žürii.

Täidame umbes pool kalorimeetrist toasooja veega (temperatuur T_0). Vee ruumala V saame mõõta kalorimeetri diameetri d ning vee kõrguse h kaudu. $V = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 h$. Kuna vee tihedus $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$, siis saame kalorimeetris oleva vee massiks

$$m_{vesi} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 h \rho.$$

Lisame kalorimeetrisse lund nii, et vee temperatuur langeks alla 10°C ning määrame vee lõpptemperatuuri T_1 . Väike temperatuuri muutus annab väga ebatäpse tulemuse. Lisatud lume massi saame kätte sulanud vee ruumala kaudu. Mõõdame uuesti veetaseme h_2 kalorimeetris ning arvutame veetaseme tõusu $\Delta h = h_2 - h$. Seega lisatud lume mass oli

$$m_{lumi} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 (h_2 - h) \rho.$$

Lume sulamiseks vajaminev soojushulk

$$Q_1 = \lambda m_{lumi}$$

Tekkinud vee temperatuuri tõstmiseks temperatuurini T_1 vajaminev soojushulk

$$Q_2 = cm_{lumi}(T_1 - 0^\circ\text{C}).$$

saadakse kalorimeetris olnud vee jahtumise

$$Q_3 = cm_{vesi}(T_0 - T_1)$$

ning kalorimeetri enda jahtumise arvel

$$Q_{kal} = c_{kal}m_{kal}(T_0 - T_1).$$

Teades, et $Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$ ning arvutades välja Q_1 , Q_2 ja Q_{kal} , saame leida kalorimeetri soojusmahtuvuse C_{kal}

$$C_{kal} = \frac{Q_1 + Q_2 - Q_3}{(T_0 - T_1)}.$$

Hindamisjuhend

Kalorimeetris oleva vee ruumala/massi mõõtmine - [2 p.]

Kalorimeetrisse lisatud lume massi mõõtmine sulanud vee järgi - [2 p.]

Vee alg- ja lõpptemperatuuri mõõtmine - [2 p.]

Soojushulkade Q_1 , Q_2 ja Q_3 arvutamine - [3 p.]

Kalorimeetri soojusmahtuvuse C_{kal} arvutamine - [2 p.].

Kogu katse tegemine vähemalt kaks korda - [1 p.].

Märkus: Kui katses kasutatakse lund, siis mõjutab tulemust ka see, et kasutatav lumi on märg, mistõttu lume sulamiseks vajaminevat soojushulka Q_1 ei saa täpselt leida (ei ole võimalik hinnata seda, kui palju lumi sisaldab vett). Marja lume mainimine/mitte mainimine punkte ei mõjuta.