Eesti koolinoorte 65. füüsikaolümpiaad

20. jaanuar 2018. 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 maksimumpunktidega.** 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. (*JALGRATTUR*) (*8 p.*) *Autor: EFO žürii.*
Keskmine kiirus on $v_k = \frac{s_{kogu}}{t_{kogu}}$ - [**1 p.**]
Teepikkus on graafiku alune pindala - [**1 p.**]
Aja saame graafikult. Kuna sõit koosneb viiest etapist, tuleb arvutada teepikkus igal etapil.

$$\text{I etapp } s_1 = \frac{0\,\mathrm{m/s} + 4\,\mathrm{m/s}}{2} \cdot 600\,\mathrm{s} = 1200\,\mathrm{m} \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

$$\text{II etapp } s_2 = \frac{4\,\mathrm{m/s} + 12\,\mathrm{m/s}}{2} \cdot 300\,\mathrm{s} = 2400\,\mathrm{m} \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

$$\text{III etapp } s_3 = 12\,\mathrm{m/s} \cdot 180\,\mathrm{s} = 2160\,\mathrm{m} \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

$$\text{IV etapp } s_4 = \frac{12\,\mathrm{m/s} + 8\,\mathrm{m/s}}{2} \cdot 600\,\mathrm{s} = 6000\,\mathrm{m} \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

$$\text{V etapp } s_5 = \frac{8\,\mathrm{m/s} + 0\,\mathrm{m/s}}{2} \cdot 120\,\mathrm{s} = 480\,\mathrm{m} \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

Kogu teepikkus $s_k = 12\,240\,\mathrm{m}$. Keskmine kiirus kogu sõidu vältel

$$v = \frac{12\,240\,\mathrm{m}}{1800\,\mathrm{s}} = 6{,}8\,\mathrm{m/s} \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

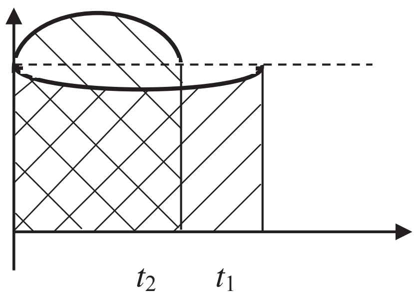
2. (*KAHEKSA*) (*8 p.*) *Autor: EFO žürii.*
Droon A on droonist B $s_A = 60\,\mathrm{m}$ tagapool [**2 p.**]. Drooni A suhteline kiirus drooni B suhtes on $v = 10\,\mathrm{m/s} - 8\,\mathrm{m/s} = 2\,\mathrm{m/s}$ [**2 p.**].
Seega kulub droonil A droonile B järele jõdmiseks

$$t = \frac{s_A}{v} = \frac{60\,\mathrm{m/s}}{2\,\mathrm{m/s}} = 30\,\mathrm{s} \qquad [\mathbf{2\ p.}]$$

Seega läbib droon A selle ajaga vahemaa s

$$s = v_A t = 10\,\mathrm{m/s} \cdot 30\,\mathrm{s} = 300\,\mathrm{m} \qquad [\mathbf{2\ p.}]$$

3. (*KAKS KUULIKEST*) (*8 p.*) *Autor: EFO žürii.*



Kuulikeste kiirused on punkti B jõudmisel võrdsed, sest künka ja lohu kumerused on sarnased ning teepikkused on võrdsed. Esimese kuulikese kiirus esialgu väheneb ja siis suureneb, teisel vastupidi. [**3 p.**]
Ajavahemiku, mis kulub kuulikestel punkti B jõudmiseks saab kiiruse graafikult. [**2 p.**] Teepikkus graafikul on võrdne graafiku joone aluse viirutatud pindalaga. Pindalade võrdsusest selgub, et $t_2 < t_1$. [**3 p.**]

4. (*TASAPINNALINE PLAAT*) (*10 p.*) *Autor: EFO žürii.*
Tasaparalleelsele plaadile langev valgus väljub plaadist ikka paralleelsena. Kui me vaatleme nüüd plaati koosnevana kumer- ja nõgusläätsest, mis on teineteisest eemale nihutamata, siis näeme, et kumerlääts koondab valgusvihu. Nõgusläätsel on näiv fookus ja kui nõgusläätse fookus langeb kokku kumerläätse fookusega, siis pärast nõgusläätse on valguskiired paralleelsed. Seega lõigatud kumer- ja nõgusläätsel on sama fookuskaugus. [**3 p.**]

Juht a). Kiired langevad kumerläätse poolt. Nihutame läätsed teineteisest veidi eemale. Kumerläätse fookus nihkub lähemale nõgusläätsele, nõgusläätsele langevad koonduvad kiired, mis pärast murdumist on ikka koonduvad, kuigi kiirte koondumispunk on nüüd läätsest kaugemal võrreldes ainult kumerläätsega. [**2 p.**]

Viime läätsed teineteisest veelgi rohkem eemale. Kumerläätsele langenud paralleelsed kiired koonduvad kahe läätse vahelises ruumis ja hajutavale läätsele langevad hajuvad kiired. Pärast nõgusläätse on kiirte hajumine läätsele langenud kiirte hajumisest suurem. [**2 p.**]

Juht b). Kiired langevad nõgusläätse poolt. Pärast nõgusläätse hajuvad sellele langenud paralleelsed kiired nii, et nende pikendused koonduvad läätse ees fookuses. Kui selles punktis asub ka kumerläätse fookus, siis pärast kumerläätse on valguskiired paralleelsed. Kui läätsed eemaldada teineteisest, siis fookused enam ei kattu ja kumerläätsele langevad hajuvad kiired, mis koonduvad kuskil läätse taga. [**2 p.**]
Kiired koonduvad sõltumata sellest, kui kaugel läätsed teineteisest on. [**1 p.**]

5. (*KONTRAKTSIOON*) (*10 p.*) *Autor: EFO žürii.*
Tähistame võetud vee massi m_v ning piirituse massi m_p. Teades, piirituse massiprotsenti $p = 44{,}1\,\%$, saame leida vee ja piirituse masside suhte.

$$\frac{m_p}{m_p + m_v} = 0{,}441 \quad \Rightarrow \quad m_p = 0{,}789 m_v \qquad [\mathbf{2\ p.}]$$

Teades lahuse kontraktsiooni $\gamma = 6\,\%$, saame kirjutada seose

$$(V_v + V_p) 0{,}94 = V \qquad [\mathbf{2\ p.}]$$

Avaldades vee ja piirituse ruumalad massi ja tiheduse kaudu, saame

$$\frac{m_v}{\rho_v} + \frac{m_p}{\rho_p} = 1{,}064V \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

Masside suhtest saime, et $m_p = 0{,}789 m_v$. Asendades selle eelmisesse võrrandisse, saame leida vee ja piirituse massid.

$$\frac{m_v}{1\,\mathrm{kg/dm^3}} + \frac{0{,}789 m_v}{0{,}79\,\mathrm{kg/dm^3}} = 1{,}064 \cdot 1\,\mathrm{dm^3} \quad \Rightarrow \quad m_v = 532\,\mathrm{g} \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

$$m_p = 0{,}789 m_v = 420\,\mathrm{g} \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

Vee ja piirituse lahuse kogumass on seega $m = m_v + m_p = 952\,\mathrm{g}$. [**1 p.**] Lahuse tiheduse on seega

$$\rho = \frac{m}{V} = 0{,}952\,\mathrm{kg/dm^3} \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

6. (*TAKISTI*) (*10 p.*) *Autor: Jonatan Kalmus.*
Esimesel hinnagul $R \approx \frac{U}{I} \approx \frac{5}{0{,}015} \approx 333\,\Omega$ on takisti väärtus voltmeetri sisetakistusega samas suurusjärgus ning seetõttu ei saa seda ignoreerida [**2 p.**]. Voltmeetri näit on täpne, sest on ühendatud takistiga otse rööbiti, kuid ampermeeter mõõdab summarset voolu, mis läheb läbi takisti ja voltmeetri [**2 p.**]. Läbi voltmeetri läheb $I_V = \frac{U}{R_V}$ [**1 p.**], seega läbi takisti minev tegelik vool on $I_T = I - I_V$ [**1 p.**]. Takisti tegelikuks väärtuseks saame

$$R_T = \frac{U}{I - I_V} \qquad [\mathbf{2\ p.}]$$

$$R_T = \frac{5}{0{,}015 - \frac{5}{1000}} = 500\,\Omega \qquad [\mathbf{2\ p.}]$$

.

7. (*PAAT*) (*10 p.*) *Autor: Sandra Schuman.*
a) Kui ankur on paadis, siis on paadile (koos ankruga) mõjuv raskusjõud $F_r = (m + M)g$ võrdne paadile mõjuva üleslõkkejõuga $F_y = \rho_v g V$, kus m - paadi mass, M - ankru mass ($M = \rho_A V_A$) ning V - vees oleva paadi ruumala ehk väljatõrjutud vee ruumala

$$F_r = F_y \quad \Rightarrow \quad (m + M)g = \rho_v g V \quad \Rightarrow \quad V = \frac{mg + \rho_A V_A g}{\rho_v g} \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

Kui ankur vette visatakse, siis mõjub paadile raskusjõud $F_{r2} = mg$, mis on võrdne paadile mõjuva üleslõkkejõuga $F_{y2} = \rho_v g V_2$, kus V_2 - vees oleva paadi ruumala ehk väljatõrjutud vee ruumala

$$F_{r2} = F_{y2} \quad \Rightarrow \quad mg = \rho_v g V_2 \quad \Rightarrow \quad V_2 = \frac{mg}{\rho_v g} \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

Lisaks paadile muudab veetaset järves nüüd ka ankur ruumalaga V_A, mis vette visati [**1 p.**]. Seega avaldub väljatõrjutud veekoguse ruumala muutus ΔV

$$\Delta V = V - (V_2 + V_A) \quad \Rightarrow \quad \Delta V = \frac{mg + \rho_A V_A g}{\rho_v g} - \left(\frac{mg}{\rho_v g} + V_A\right) \quad \Rightarrow$$

$$\Delta V = \frac{\rho_A V_A g}{\rho_v g} - V_A = \frac{V_A(\rho_A - \rho_v)}{\rho_v} = 0{,}0207\,\mathrm{m}^3 \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

Veetaseme järves langes, kuna ruumala muutus tuli positiivne (kui ankur oli paadis, oli vees oleva paadi ruumala suurem võrreldes vees oleva paadi ja põhjas oleva ankru ruumalade summaga) [**1 p.**], seega langes veetase veetase järves Δh võrra

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{S} \approx 0{,}001\,\mathrm{m} \approx 1\,\mathrm{mm}. \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

b) Kui ankur paadist välja visata, siis ei muutu ankru ja paadi süsteemi mass ega ka süsteemile mõjuv raskusjõud. Süsteem ujub kokkuvõttes endiselt veepinnal ning paadi ja ankru süsteemile mõjuv üleslükkejõud on sama. Kuna paadi ja ankru süsteemile mõjuv üleslükkejõud ei muutu, ei muutu ka väljatõrjutud vee ruumala ning veetase järves [**2 p.**].

TEINE LAHENDUS

a) Kui ankur on paadis, siis tõrjub Archimedese seaduse kohaselt paat välja vee massiga $M + m$, kus M on ankru mass ning m paadi ja paadis olevate asjade mass koos kalastajaga [**2 p.**]. Kui ankur ei ole paadis, siis tõrjub paat välja vee massiga m ja ankur välja vee massiga $\rho_v V_A$ [**1 p.**].

$$V_A = \frac{M}{\rho_A}. \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

Kuna ankur enda definitsiooni kohaselt upub vees, siis $\rho_A > \rho_v$ ja seega $\rho_v V_A < m$ ning pärast ankru paadist välja viskamist üles tõrjutud vee mass on väiksem kui enne ankru välja viskamist üles tõrjutud vee mass. Seega veetase järves ankrut välja visates alaneb [**1 p.**]. Leiame, kui palju erineb väljatõrjutud vee ruumala:

$$\Delta V = \frac{V_A \rho_A - \rho_v V_A}{\rho_v} = 0{,}0207\,\mathrm{m}^3 \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

Veetasemete erinevus on

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{S} = \frac{V_A \rho_A - \rho_v V_A}{S \rho_v} \approx 0{,}001\,\mathrm{m} \approx 1\,\mathrm{mm}. \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

b) Kui ankur paadist välja visata, siis ei muutu ankru ja paadi süsteemi mass ega ka süsteemile mõjuv raskusjõud. Süsteem ujub kokkuvõttes endiselt veepinnal ja Archimedese seaduse järgi tõrjub välja sama suure koguse vett kui enne, seega veetase järves ei muutu. [**2 p.**]

8. (*VIHM*) (*10 p.*) *Autor: EFO žürii.*
Koku sajab vihma $h = vt = 12\,\mathrm{mm/h} \cdot 5\,\mathrm{h} = 60\,\mathrm{mm}$ paksune kiht. [**2 p.**]
Soojushulk, mille vihm annab lumele on

$$Q = m_v c \Delta T = \rho_v h_v S c \Delta T \qquad [\mathbf{2\ p.}]$$

Lume sulamiseks kuluv soojushulk on

$$Q = \lambda m_l = \lambda \rho_l h_l S \qquad [\mathbf{2\ p.}]$$

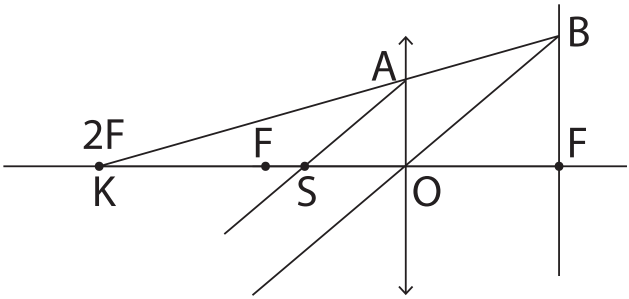
Võrdsustades seosed saame

$$h_l = \frac{\rho_v h_v c \Delta T}{\rho_l \lambda} \qquad [\mathbf{2\ p.}]$$

Sulava lumekihi paksus $h_l = 3\,\mathrm{cm}$. [**2 p.**]

9. (*KAKS VALGUSALLIKAT*) (*12 p.*) *Autor: EFO žürii.*
Kui optilisel peateljel paiknev valgusallikas asub läätsest 18 cm kaugusel, mis on võrdne kahekordse fookuskaugusega, siis selle valgusallika kujutis

asub teisel pool läätse läätsest samuti kahe fookuskaugusel ehk 18 cm kaugusel. [**2 p.**] Et kahe valgusallika kujutised kattuksid, peab teine kujutis olema näilik. [**2 p.**] Konstrueerime valgusallika asukoha, kui kujutise asukoht on teada. (Joonis [**4 p.**])



Sarnastest kolmnurkadest $\triangle KAO$ ja $\triangle KBF$ saame, et

$$\frac{AO}{BF} = \frac{KO}{KF} = \frac{2f}{3f} = \frac{2}{3} \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

Teisest sarnaste kolmnurkade paarist $\triangle SAO$ ja $\triangle OBF$ saame, et

$$\frac{AO}{BF} = \frac{OS}{FO} = \frac{b}{f}, \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

kus b - teise valgusallika kaugus läätsest. Ühendades kaks seost, saame

$$\frac{KO}{KF} = \frac{OS}{FO} \quad \Rightarrow \quad \frac{2}{3} = \frac{b}{f} \quad \Rightarrow \quad b = \frac{2f}{3} = 6\,\mathrm{cm} \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

Teine valgusallikas peab asuma läätsest 6 cm kaugusel ning kahe valgusallika kaugus teineteisest on 6 cm + 18 cm = 24 cm. [**1 p.**]

TEINE LAHENDUS

Sarnaste kolmnurkade asemel saame kasutada läätse valemit. Teades, et valgusallikas asub läätsest $a = 18\,\mathrm{cm}$ kaugusel ning läätse fookuskaugus on $f = 9\,\mathrm{cm}$, saame leida kujutise kauguse k läätsest.

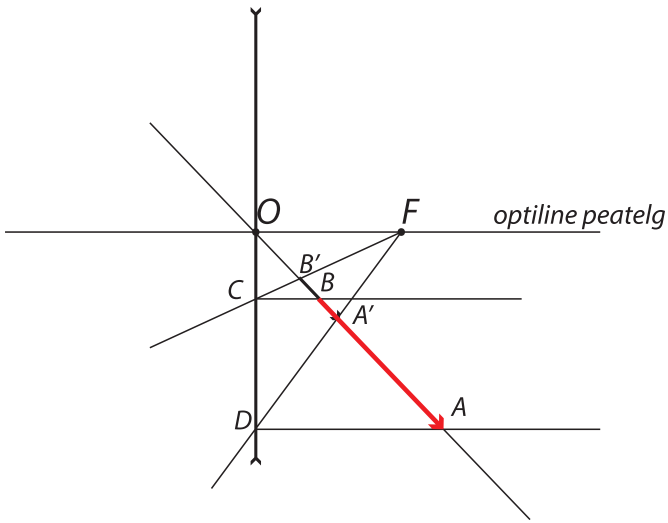
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad k = 18\,\mathrm{cm} \qquad [\mathbf{3\ p.}]$$

Teise valgusallika kujutis peab olema samuti samas punktis, kus esimese valgusallika oma, seega peab teise valgusallikaga tekitaud kujutis olema näiline [**2 p.**] ning valgusallikas peab asuma kujutisega samal pool läätse [**2 p.**]. Kasutades läätse valemit, leiame teise valgusallika asukoha

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{k} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad a = 6\,\mathrm{cm} \qquad [\mathbf{4\ p.}]$$

Teine valgusallikas peab asuma läätsest 6 cm kaugusel ning kahe valgusallika kaugus teineteisest on $6\,\mathrm{cm} + 18\,\mathrm{cm} = 24\,\mathrm{cm}$. [**1 p.**]

10. (*KUJUTIS*) (*12 p.*) *Autor: EFO žürii.*



Hindamisjuhend

Optilise peatelje joonistamine - [**1 p.**]

Läätse joonistamine (lääts risti optilise peateljega) - [**1 p.**]

Mõistmine, et tegemist on näiva kujutise ning nõgusläätsega. Ainult nõguslääts saab tekitada kujutise läätse ja fookuse vahele - [**2 p.**]

Kujutise otstest A' ja B' kiire joonistamine läbi läätse keskpunkti O - [**1 p.**]

Mõistmine, et ese asub sirgel, mis läbib punkte A', B', O - [**1 p.**]

Punktist A' kiire joonistamine läbi fookuse F, mis lõikab läätse punktis D - [**1 p.**]
Punktist D optilise peateljega paralleelse kiire joonistmaine, mille lõikepunkt läätse keskpunkti läbiva kiirega ongi eseme ots A - [**2 p.**]
Punktist B' kiire joonistamine läbi fookuse F, mis lõikab läätse punktis C - [**1 p.**]
Punktist C optilise peateljega paralleelse kiire joonistmaine, mille lõikepunkt läätse keskpunkti läbiva kiirega ongi eseme ots B - [**2 p.**]

E1.(*PABERI MASS*)(*10 p.*) *Autor: EFO žürii.*
Kiri "$80\,\mathrm{g/m^2}$" tähendab, et paberi iga ruutmeetri mass on $80\,\mathrm{g}$. Tähistame selle tähega $r = 80\,\mathrm{g/m^2}$. Kasutades ühikut, saab tuletada valemi $r = m/S$, kus m on paberilehe mass ja S on pindala.
Paberilehe pindala $S = l_{pikem} l_{\text{lühem}}$, kus l_{pikem} ja $l_{\text{lühem}}$ on paberilehe mõõtmed.
Paberilehe mass $m = rS$.
Pikema külje leidmiseks voldime ühe paberi külje vähemalt 4 korda kokku (paberi külg jaguneb 16 lõiguks) ning vaatame mitu sellist lõiku mahub kummagi külje sisse. Teades, mitu korda erinevad paberi külgede pikkused, saame leida pikema külje pikkuse.

Hindamisjuhend:
Seose $m = rS$ tuletamine - [**2 p.**]
Pikema külje mõõtmiseks paberi voltimine kitsamaks, mis tagab täpsema tulemuse - [**2 p.**]
Paberi pikema külje võrdlemine lühema külje pikkusega $l_{\text{pikem}}/l_{\text{lühem}} = 22{,}5/16 = 1{,}406$ - [**2 p.**]
Pikema külje pikkuse arvutamine $l_{pikem} = 1{,}406 \cdot 210\,\mathrm{cm} = 295{,}3\,\mathrm{cm}$
Paberilehe pindala arvutamine $S \approx 62\,000\,\mathrm{mm^2} \approx 0{,}062\,\mathrm{m^2}$. - [**2 p.**]
Paberilehe massi arvutamine $m = 4{,}9\,\mathrm{g} \ldots 5{,}0\,\mathrm{g}$ - [**2 p.**] (Väiksem täpsus [**1 p.**]).

E2.(*TOPSI MASS*)(*12 p.*) *Autor: EFO žürii.*

Leiame joonlaua masskeskme laua serval. Kuna me joonlaua massi ei tea, siis on edaspidistes katsetes joonlaua masskese kogu aeg laua serval ning tasakaalu saavutamiseks liigutame topse.

Ühte topsi lisame süstlaga kindla koguse vett m_v. Vee massi leiame vee tiheduse ja ruumala kaudu.

Asetame tüja topsi ühe joonlaua otsa peale ning veega topsi teisele poole nii, et joonlaud koos topsidega jääb tasakaalu (joonlaua masskese peab olema laua serval).

Mõõdame tühja topsi keskpunkti kauguse l_t tasakaalupunktist ning veega topsi keskpunkti l_v kauguse tasakaalupunktist.

Kasutades kangireeglit, saame avaldada tühja topsi massi m_t

$$m_t l_t = (m_t + m_v) l_v \quad \Rightarrow \quad m_t = \frac{m_v l_v}{l_t - l_v}$$

Hindamisjuhend:

Joonlaua masskeskme leidmine - [**1 p.**]

Joonlaua kasutamine kangina. Joonlaua masskese asub kõikide mõõtmiste aeg tasakaalupunktis - [**1 p.**]

Idee, et ühte tühja topsi saame lisada kindla koguse vett - [**1 p.**]

Vee massi leidmine vee ruumala ja tiheduse kaudu - [**1 p.**]

Seose $m_t l_t = (m_t + m_v) l_v$ leidmine - [**2 p.**]

Topsi massi avaldamine - [**1 p.**]

Jõuõlgade l_v ja l_t korrektne mõõtmine (topsi keskkohast) - [**2 p.**]

Korduskatsed (vähemalt 3 korda) - [**1 p.**]

Topsi massi arvutamine täpsusega 5 % - [**2 p.**] (Väiksem täpsus [**1 p.**]).