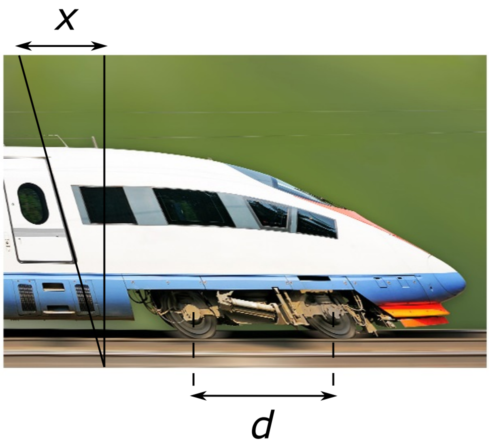
# Eesti koolinoorte 68. füüsikaolümpiaad

*10. aprill 2021. a.*
*Põhikooli ülesannete lahendused*

**1.** (*KIIRRONG*) (*6 p.*) *Autor: Hans Daniel Kaimre*




Selleks, et teada saada rongi kiirust, uurime kui palju nihkub mõni rongi või selle tasandis olev detail pildi salvestamise jooksul. Selleks uurime üht rongil olevat detaili, mis on vertikaalne. Parempoolse foto põhjal näeme, et üks selline on veduri uks. Pikendame moonutatud fotol piki ukse serva jooksvat sirget foto ülaservast alaserva ning mõõdame joonlauaga nihke $x$, samuti mõõdame joonlauaga jooniselt teljevahe $d$. Rongi tasandis nihkub see moonutamata pildil olev vertikaalne sirge seega

$$X = \frac{x}{d} \cdot D.$$

Kuna pildi skannimiseks kuluv aeg on meil teada, avaldub kiirrongi kiirus lihtsalt

$$v = \frac{X}{T} = \frac{(x/d) \cdot D}{T} = \frac{(4.3/7.1) \cdot 2{,}4\,\mathrm{m}}{1/50\,\mathrm{s}} = 73\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 260\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}.$$

PS! $x$ ja $d$ mõõdetud eraldiseisvad väärtused võivad olla mistahes (kuna sõltuvad pildi skaleerimisest ekraanil või printimisel), kuid nende suhe peab olema $x/d \approx 0.6$.

**2.** (*ESTLINK-2*) (*8 p.*) *Autor: Jaan Kalda*

Koostame ekvivalentskeemi: juhtmed ja tarbija on kõik järjestikku ühendatud toitepingele $U_0$. Kahe juhtme kogupikkus on $L = 200\,\mathrm{km}$ ning kogutakistus $R = L\rho/S = 1{,}7\,\Omega$. Eeldades, et see on hulga väiksem tarbija takistusest leiame koguvoolu ahelas $I = P/U_0$ ning traadil eralduva võimsuse kui $P' = I^2R = P^2R/U_0^2$. Seega võimsuste suhe $P'/P = PR/U_0^2 = 0.0084 = 0.84\%$. Valemist on näha, et pinge vähendamine kaks korda suurendaks suhtelisi kadusid neli korda.

**3.** (*KIHUTAJA*) (*8 p.*) *Autor: Oleg Košik*

Vastutulevate autode suhtes on Koidu kiirus $v + v_0$, samas suunas sõitvate autode suhtes $v - v_0$. Olgu $d$ kaugus kahe järjestikuse auto vahel maanteel. Koit suudab seda vahemaad tasa teha $\Delta t = t_2 - t_3 = 3{,}5$ minutiga. Saame seega võrrandi:

$$d = (v - v_0)\Delta t = (v + v_0)t_1.$$

Sellest leiame, et Koidu kiirus on $v = 120\,\mathrm{km/h}$.

Ühe möödasõidu tsükli Koit sõidab 3,5 minutit kiirusega 120 km/h, läbides selle ajaga 7 km, ning seejärel veel 1 minuti kiirusega 90 km/h, läbide selle ajaga 1,5 km. Kokku läbib Koit seega 4,5 minutiga 8,5 km. Teekonna jooksul jõuab Koit teha $N = \frac{178{,}5\,\mathrm{km}}{8{,}5\,\mathrm{km}} = 21$ möödasõitu, sellele kulub tal kokku $T_1 = 21 \cdot 4,5 = 94{,}5\,\mathrm{min}$. Tavalisel autol võtab teekond linnast A linna B aga $T_2 = s/v_0 = 119\,\mathrm{min}$. Seega on Koidu ajavõit $\Delta T = T_2 - T_1 = 24{,}5\,\mathrm{min}$.

**4.** (*NOOR KATSETAJA*) (*8 p.*) *Autor: Konstantin Dukatš*

Sel ajal kui keedupulk töötab, vesi soojeneb ja seejärel aurub. Esmalt on potis on $M_0 = \rho SH = 6\,\mathrm{kg}$ vett. Koostame soojustasakaalu võrrandi:

$$Pt = c_v M_0(T_a - T_0) + L\Delta M,$$

kus $T_a = 100\,°\mathrm{C}$. Siit leiame, et aurustunud vee mass on

$$\Delta M = \frac{Pt - c_v M_0(T_a - T_0)}{L} = 3{,}82\,\mathrm{kg}.$$

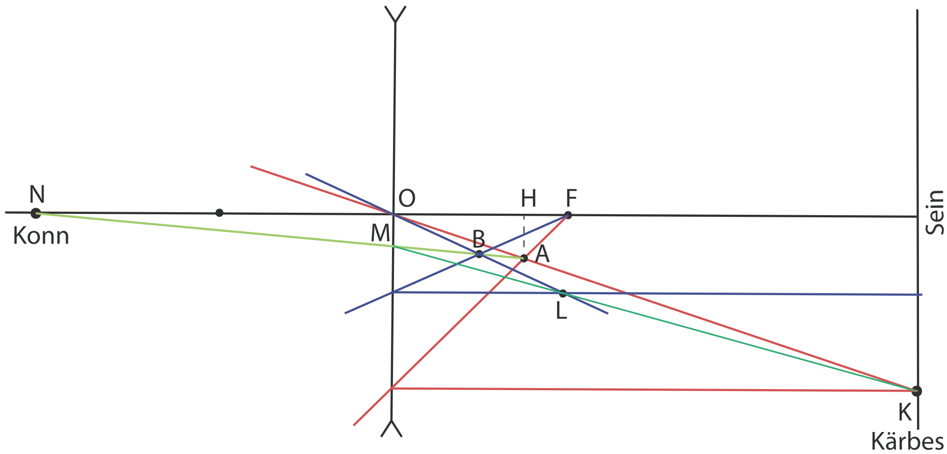
Potti jäänud vee mass on $M_1 = M_0 - \Delta M$ ning ruumala $V_1 = \frac{M_1}{\rho} = 2180\,\mathrm{cm}^3$.

Sellele lisandub keedupulga ruumala $V = 20\,\mathrm{cm}^3$, mistõttu potti jääva veesamba kõrgus on

$$H_1 = \frac{V_1 + V}{S} = 7{,}33\,\mathrm{cm}.$$

Veetase langes seega $\Delta H = H - H_1$ võrra, millele vastab rõhu muutus $\Delta p = \rho g \Delta H = 1240\,\mathrm{Pa}$.

**5.** (*KONN JA KÄRBES*) (*10 p.*) *Autor: Erkki Tempel*




Kärbse $K$ kujutis asub punktis $A$. Kuna konn näeb, et kärbes lendab otse tema suunas, siis hakkab kärbse kujutis liikuma mööda sirget $AN$. Võtame sellel sirgel suvalise punkti $B$. Kärbes peab olema punktis $L$, et kujutis oleks punktis $B$. Seega hakkab liikuma kärbes mööda sirget $KM$.

Kujutise $A$ kaugus läätsest

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a} \qquad \Rightarrow \qquad k = 0{,}75\,\mathrm{m}$$

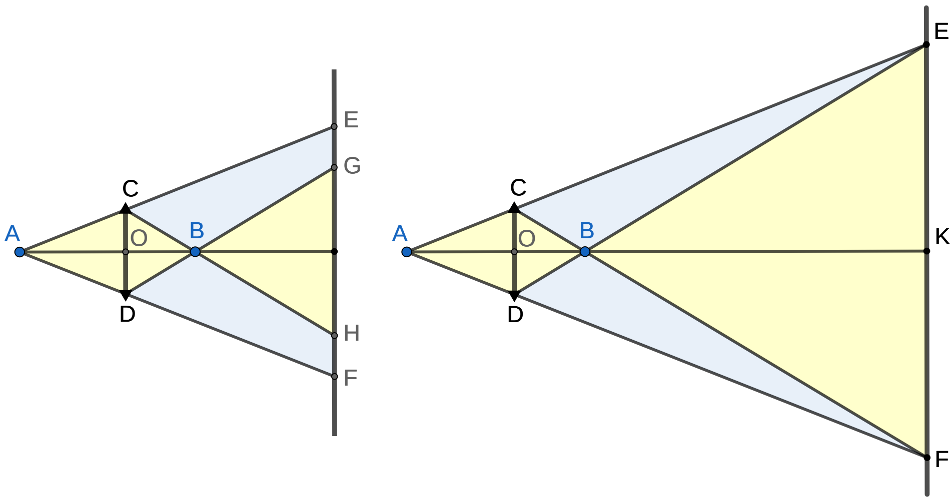
Kujutis $A$ asub optilisest peateljest kaugusel $h = 0{,}25\,\mathrm{m}$.

Kolmnurkadest $\triangle NMO$ ja $\triangle NAH$ saame leida lõigu $OM$ pikkuse

$$OM = AH\frac{NO}{NH} \approx 0{,}18\,\mathrm{m}$$

Sirge $KM$ pikkus on seega

$$KM = \sqrt{3^2 + (1 - 0,18)^2} \approx 3{,}11\,\mathrm{m}$$




**6.** (*LÄÄTS JA EKRAAN*) (*10 p.*) *Autor: Oleg Košik*

Olgu $A$ valgusallikas, $B$ tema kujutis läätses ning $CD$ lääts.

Kui ekraan asub läätsest 10 ja 60 cm vahel, tekivad ekraanile kaks kontsentrilist ringi (vasakpoolne joonis): hele väiksem ring diameetriaga $GH$ asub tumeda ringi diameetriga $EF$ sees. Aladele EG ja HF valgusallika valgus ei jõua.

Eemdaldades läätse ekraanist saavad punktid $E$ ja $G$ kokku üheks nagu ka punktid $F$ ja $H$. Ekraani katab ühtlaselt valgus, nagu läätse poleks (parempoolne joonis).

Olgu $x = |AO|$ kaugus valgusallika ja läätse vahel, $r = |OC|$ läätse raadius ning $r = |KE|$. Ülesande tingimustest $|BO| = 10\,\text{cm}$, $|KO| = 60\,\text{cm}$ ning seega $|BK| = 50\,\text{cm}$. Sarnastest kolmnurkadest $AOC$ ja $AKE$ saame

$$\frac{r}{R} = \frac{x}{x+60}.$$

Sarnastest kolmnurkadest $BOD$ ja $BKE$ aga

$$\frac{r}{R} = \frac{10}{50}.$$

Kokkuvõttes saame võrrandi $\dfrac{x}{x+60} = \dfrac{10}{50}$, mille lahendiks on $x = 15\,\text{cm}$.

**7.** (*HARI*) (*10 p.*) *Autor: Koit Timpmann*

Harja raskuskese asub käte vahel lähemale vasakule käele. Seetõttu on harja rõhumisjõud suurem vasaku käe sõrmele. Kuna hõõrdejõud on võrdeline rõhumisjõuga, on vasaku käe sõrme ja harjavarre vaheline hõõrdejõud suurem kui parema käe sõrme ja harjavarre vaheline hõõrdejõud.

1) Kui nihutada paremat kätt vasaku käe poole, siis kuna hõõrejõud parema käe juures on suurem, jääb hari liikumatuks ja sõrm libiseb harjavarre alla seni, kuni mõlemad käed on harja raskuskeskme asukohast võrdsel kaugusel. Parema käe edasisel nihutamisel muutub rõhumisjõud sellele käele suuremaks ja hari liigub koos parema käega kuni harja raskuskese jõuab uuesti sõrmedevahelise kauguse keskpunkti. Selline liikumine jätkub seni, kuni sõrmed puudutavad teineteist.

2) Kui nihutada vasakut kätt parema käe poole, liigub hari koos sõrmega libisedes mööda parema käe sõrme kuni mõlemad sõrmed asuvad harja raskuskeskmest samal kaugusel. Edasi jätkub nii nagu eelmisel juhul.

3) Kui liigutada korraga mõlemat kätt teineteise poole, liigub hari koos vasaku käega seni, kuni harja masskese jõuab mõlemast käest võrdsele kaugusele. Seejärel libisevad mõlemad käed harja all, hari ise jääb liikumatuks. Kuna harja raksuskese jääb kõikidel juhtudel kahe sõrme vahele, püsib hari kogu aeg tasakaalus ega kuku kummalegi poole.

**8.** (*JÄÄAEG*) (*10 p.*) *Autor: Erik Tamre*

Soolsuse muutuse põhjal leiame, et viimase jääaja kõrghetke maailmamere vee massi suhe tänasesse on $\frac{3{,}47\%}{3{,}60\%} = 0,964$. Seega on vahepeal merre lisandunud $(1 - 0.964)M = 0,036M$ vett, kus $M$ on tänase maailmamere vee mass.

Kuna merejää ujub ookeanis, ei mõjuta tema sulamine vastavalt Archimedese seadusele ookeani veetaset üldse. Nii et maismaalt on merre lisandunud

$$\frac{h}{H}M = \frac{120\,\mathrm{m}}{3680\,\mathrm{m}}M = 0,0326M$$

vett (siin on oluline, et merejää paksus on täna tühine: muidu poleks selge, kas ja mil määral jää paksus selle 3680 m hulka kuulub). Merejää moodustab sulanud jääst seega

$$1 - \frac{0,0326M}{0,036M} \approx 10\%.$$

*Märkus.* Tegelikult on merejää osakaal vahepeal sulanud jää hulgas vast veel suurusjärgu võrra väiksem: et seda tegelikkuses niimoodi arvutada, peaksime viimase jääaja maailmamere soolsust ülitäpselt tuvastada suutma. Meie tänaste teadmiste juures suudab see meetod üksnes näidata, et merejää pidi sulanud jääst moodustama suhteliselt väikese osa.

**9.** (*VEEVANN*) (*10 p.*) *Autor: Taavet Kalda*

Peale pika aja möödumist jõuab veevann statsionaarsesse olekusse, kus nii vee kui ka jää temperatuur on ajas konstantsed. Seega peab kehtima soojusvoogude tasakaal. Jääkihti paksusega $h_1$ läbib samasugune soojusvoog nagu läbi veekihi paksusega $h_2$. Kuna jääd ning vett eraldava pinna temperatuur on $T_3 = 0\,°\mathrm{C}$, siis soojusvoogude tasakaal esitub kujul

$$\frac{T_2 - T_3}{h_2} k_{\mathrm{vesi}} = \frac{T_3 - T_1}{h_1} k_{\mathrm{jää}}.$$

Kuna $T_2 - T_3 = T_3 - T_1 = 10\,°\mathrm{C}$, siis

$$h_2 = h_1 \frac{k_{\mathrm{vesi}}}{k_{\mathrm{jää}}}.$$

Lisaks peab kehtima massi jäävus. Teisisõnu, $h\rho_{\mathrm{vesi}} = h_1\rho_{\mathrm{jää}} + h_2\rho_{\mathrm{vesi}}$. Seega,

$$h\rho_{\mathrm{vesi}} = h_1 \left(\rho_{\mathrm{jää}} + \frac{k_{\mathrm{vesi}}}{k_{\mathrm{jää}}}\rho_{\mathrm{vesi}}\right),$$

ehk jääkihi paksus on

$$h_1 = h \frac{1}{\frac{\rho_{\mathrm{jää}}}{\rho_{\mathrm{vesi}}} + \frac{k_{\mathrm{vesi}}}{k_{\mathrm{jää}}}} = 8{,}5\,\mathrm{cm}.$$

**10.** (*LAMBID*) (*12 p.*) *Autor: Richard Luhtaru*

Teades lambi nimipinget $U_{\mathrm{nimi}}$ ja nimivõimsust $P_{\mathrm{nimi}}$, saame leida lambi takistuse

$$R_L = \frac{U_{\mathrm{nimi}}^2}{P_{\mathrm{nimi}}} = \frac{(6\,\mathrm{V})^2}{3\,\mathrm{W}} = 12\,\Omega$$

Paneme tähele, et igat paralleelühendust läbiv summaarne vool on voolu jäävuse tõttu $I$. Kui lampi $A$ läbib vool $I_A$, siis sellega rööbiti ühendatud takistit läbib vool $I - I_A$. Kuna nende klemmidel on võrdne pinge, siis

$$I_A R_L = (I - I_A)R \Longrightarrow I_A = \frac{R}{R + R_L} \cdot I$$

Sarnaselt

$$I_B(R+R_L) = (I - I_B)\cdot 3R \Longrightarrow I_B = \frac{3R}{4R+R_L}\cdot I$$

Olgu lampi $B$ läbiv vool $I_B$. Et lambid põleksid sama heledalt, peavad nende võimsused olema võrdsed.

$$P_A = P_B \Longrightarrow I_A^2 R_L = I_B^2 R_L \Longrightarrow I_A = I_B$$

$$\frac{R}{R+R_L}\cdot I = \frac{3R}{4R+R_L}\cdot I \Longrightarrow 4R+R_L = 3(R+R_L) \Longrightarrow R = 2R_L$$

Seega $R = 24\,\Omega$.

Olgu ülejäänud kaks lampi C ja D. Jällegi märkame, et parallelühendusi läbivate voolude summa on $I$, seega lampe läbivate voolude summa on samuti $I_C + I_D = I$. Järelikult klemmidel olevate pingete summa on

$$U_C + U_D = I_C R_L + I_D R_L = (I_C + I_D)R_L = IR_L$$

Samuti teame, et

$$U_A = I_A R_L = \frac{R}{R+R_L}\cdot IR_L = \frac{2R_L}{2R_L+R_L}\cdot IR_L = \frac{2}{3}IR_L$$

$$U_B = I_B R_L = I_A R_L = \frac{2}{3}IR_L$$

Seega pingete summa on

$$U_s = U_A + U_B + U_C + U_D = \frac{7}{3}IR_L = \frac{7}{3}\cdot 1\,\mathrm{A}\cdot 12\,\Omega = 28\,\mathrm{V}$$

**E1.** (*OPTILINE TIHEDUS*) (*10 p.*) *Autor: EFO žürii*

Tuleb vaadata läbi vedelike mingit eset või kujundit paberil. Asetades need pudelile piisavalt lähedale, näeme suurendatud (ümber pööramata) kujutise. Mida suurem on kujutis, seda suurem on optiline tihedus, sest murdva pinna kumerus on mõlemal juhul ühesugune. Suuremale murdumisnäitajale vastab suurem murdumisnurk, sellele aga suurem kujutis (parim seletus on joonise abil).

Kuivõid vesi ja toiduõli omavahel ei segune, võime need paremaks vaatlemiseks korraga pudelisse valada (vesi jääb alla ja toiduõli ülesse). Näeme, et toiduõlis on kujutis suurem, mistõttu on toiduõli optiliselt tihedam.

Vee murdumisnäitaja on 1,33, toiduõli oma 1,47.

**E2.** (*PABERI TIHEDUS*) (*12 p.*) *Autor: Erkki Tempel*

Lõikame mõlemad paberid täpselt sama suurusteks, mida suurem, seda parem.

Tiheduste suhte leidmiseks peame leidma fooliumpaberi ja ümbrispaberi masside suhte $m_f/m_p$ ning paksuste suhte $h_f/h_p$. Tiheduse valemist saame avaldada tiheduste suhte masside ja paksuste suhete kaudu

$$\frac{\rho_f}{\rho_p} = \frac{m_f V_p}{m_p V_f} = \frac{m_f}{m_p} \cdot \frac{h_p}{h_f}$$

Masside suhte leidmiseks kasutame kangimeetodid. Paberi saame voltida nii, et seda saab kangina kasutada ja saame leida paberite masside suhte $m_f/m_p$. Paberi paksuste suhte $h_p/h_f$ leidmiseks voldime paberi mitu korda kokku (näiteks 16 kihti) ning vaatame, mitu kihti paberit on sama paks kui 16 kihti fooliumpaberit.