Eesti koolinoorte 66. füüsikaolümpiaad

19. jaanuar 2019. 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. (*RONGID*) (*6 p.*) *Autor: EFO žürii.*
Tähistame kaubarongi kiiruse $v_1 = 90\,\mathrm{km/h}$ ja kaubarongi peatuse mingis jaamas $\Delta t_1 = 0{,}5\,\mathrm{h}$; reisirongi kiiruse $v_2 = 144\,\mathrm{km/h}$ ja selle kaubarongist hilisema väljumisaja $\Delta t_2 = 2\,\mathrm{h}$.
Koostame liikumisvõrrandi:

$$s = v_1(t - \Delta t_1) + v_2(t - \Delta t_2). \qquad [\mathbf{3\ p.}]$$

Avaldame liikumisvõrrandist kohtumise aja

$$t = \frac{s + v_1\Delta t_1 + v_2\Delta t_2}{v_1 + v_2} = 5{,}27\,\mathrm{h} \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

Teisendades aja minutitesse, saame, kahe rongi kohtumise ajaks kell 03.16 öösel [**1 p.**]
Arvutame kohtumiskoha kauguse jaamast A arvestades, et kaubarong liikus kohtumiskohani

$$t_1 = t - \Delta t_1 = 4{,}77\,\mathrm{h}$$

ja kohtumiskoht oli jaamast A kaugusel

$$s_1 = 90\,\mathrm{km/h} * 4{,}77\,\mathrm{h} = 429{,}3\,\mathrm{km} \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

2. (*KÜLMKAPP*) (*6 p.*) *Autor: EFO žürii.*
he liitri vee mass on $m_v = \rho V_0 = 1\,\mathrm{kg}$ [**1 p.**]. Vesi annab jahtudes 0 °C-ni ära soojushulga Q_1.

$$Q_1 = c m_v \Delta t = 16\,800\,\mathrm{J}. \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

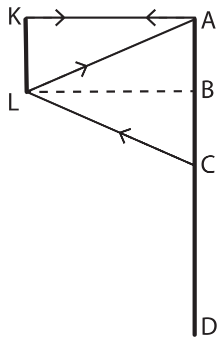
Jäätub pool veest ($m_j = 0{,}5\,\mathrm{kg}$), mis annab ära soojushulga Q_2

$$Q_2 = \lambda m_j = 170\,000\,\mathrm{J}. \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

Kogu soojushulk, mis läheb külmkapile $t = 4\,\mathrm{h} = 14\,400\,\mathrm{s}$ [**1 p.**] jooksul on $Q = Q_1 + Q_2 = 186\,800\,\mathrm{J}$ [**1 p.**]. Seega külmkapi külmutusvõimsus N on

$$N\frac{Q}{t} \approx 13\,\mathrm{W}.[\mathbf{1\ p.}]$$

3. (*JOPE*) (*8 p.*) *Autor: EFO žürii.*



Et vastata küsimusele, kas kaugemalt/lähemalt vaadates on peeglis rohkem jopet näha uurime, millises seoses on peeglis vaadeldava eseme ja peegli kõrgus. [**1 p.**]

Eeldame, et inimene AD ja peegel KL paiknevad mõlemad vertikaalselt ning inimese silm asub punktis A. [**1 p.**]

Asugu peegli ülemine äär inimese silmaga samal kõrgusel. Sel juhul näeb inimene peegli ülemises servas oma silma. Peegli alumises servas näeb ta oma keha punkti C. [**1 p.**]

Vastavalt peegeldumise seadusele on valguse peegeldumisnurk $\angle ALB$ võrdne langemisnurgaga $\angle BLC$. [**1 p.**]

Seega saame väita, et $\triangle ABL$ ja $\triangle CLB$ on võrdsed, sest neil on ühine kattuv külg LB ja mõlema kolmnurga ühise külje lähisnurgad on võrdsed. Üks külje LB lähisnurkadest on vastavalt kas valguse langemis- või peegeldumisnurk kolmnurkade tipu L juures ja teine täisnurk kolmnurkade tipu B juures. [**1 p.**]

Seega lõigud AB ja CB kui kolmnurkade vastavad küljed on suuruselt võrdsed. [**1 p.**]

Kuna lõik AB on võrdne peegli kõrgusega KL, on peeglis nähtav ese, mis on kaks korda kõrgem peegli kõrgusest. [**1 p.**]

Võib teha teise joonise, kus inimene asub kaugemal või lähemal peeglile. Kui vaadeldav ese ja peegel asuvad paralleelselt, on sõltumata eseme kaugusest peeglist peeglis nähtava eseme kõrgus võrdne peegli kahekordse kõrgusega. Seega ei näe Juku sellest peeglist tervet jopet ka siis, kui astub peeglile lähemale või eemaldub peeglist. [**1 p.**]

Märkus: kui jope ja silmad pole peeglist sama kaugel, siis sõltuvalt täpsest objektide asetusest võib lähemale minnes nii rohkem kui ka vähem jopet näha olla.

4. (*LENNUJAAM*) (*8 p.*) *Autor: Kristian Kuppart.*
Vaatame ülesannet lindiga seotud taustsüsteemis. [**2 p.**] Sellises taustsüsteemis on on Jüri paigal ja Mari liigub mingi kiirusega v mõlemas suunas. [**2 p.**]

Kuna Mari kiirus nii mööda linti edasi kui tagasi jooksmisel on sama ning vahemaa, mis Mari läbib on samuti sama, on liikumise aeg mõlemal puhul sama. Maril kulub seega edasi-tagasi jooksmiseks kokku aeg

$$t_{kogu} = 2t = 80\,\mathrm{s} \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

Jüri on selle aja jooksul liikunud maapinna suhtes vahemaa $l = 2ut = 64\,\mathrm{m}$, mis ongi kaugus lindi algusest, kus nad kohtuvad. [**2 p.**]

Alternatiivne lahendus:

Vaatame ülesannet maaga seotud taustsüsteemis. Olgu lindi kogupikkus L, kohtumiskoha kaugus lindi algusest l, Mari lindi lõppu jooksmiseks kulunud aeg t, Mari lindi lõpust kohtumispaika jooksmiseks kulunud aeg t_1 ning Mari kiirus lindil joostes lindi suhtes v. Kuna Jüri on lindi suhtes paigal, siis selleks hetkeks, kui nad kohtuvad, on Jüri liikunud maa suhtes

$$l = u\,(t + t_1) \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

Mari liigub mööda linti edasi joostes maapinna suhtes kiirusega $v + u$, seega lindi pikkuse saame avaldada kui

$$L = (v + u)\,t \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

Mari peab läbima pärast ümberpööramist lõigu $L - l$ ning ta liigub lindiga vastassuunas joostes maapinna suhtes kiirusega $v - u$. Seega saame selle lõigu pikkuse avaldada kui

$$L - l = (v - u)\,t_1 \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

Lahendame nendest võrranditest saadud süsteemi. Selleks asendame esimesest kahest võrrandist L-i ja l-i kolmandasse ning saame seose:

$$vt + ut - ut - ut_1 = vt_1 - ut_1$$

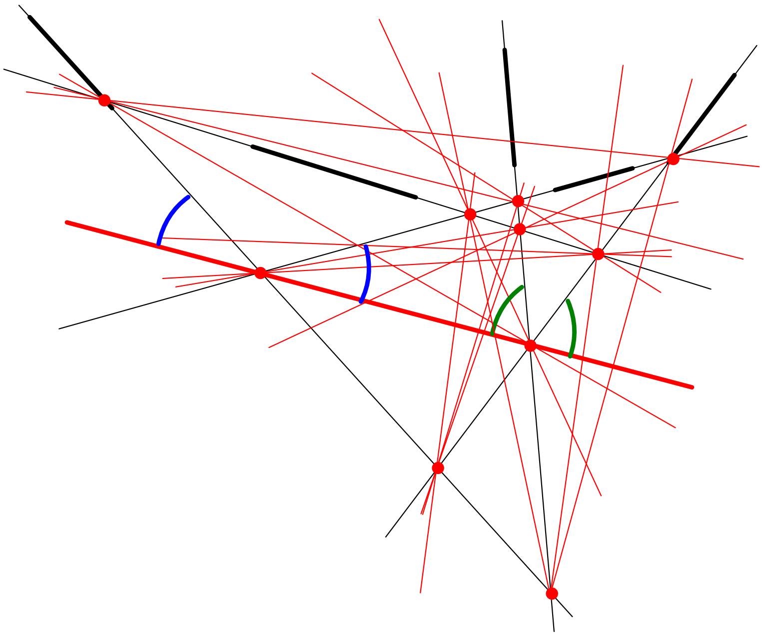
$$vt = vt_1, \quad t = t_1 \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

Seega lindi algusest lõppu ning lõpust kohtumispaika jooksmiseks kulunud aeg on sama. Nüüd saame esimesest võrrandist

$$l = u\,(t + t_1) = 2ut = 64\,\mathrm{m} \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

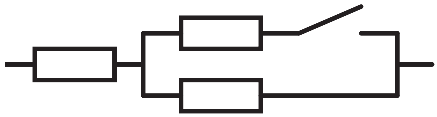
. Nagu näeme, siis säästab selles ülesandes olukorra vaatlemine lindiga seotud taustsüsteemis oluliselt arvutusvaeva.

5. (*PEEGEL*) (*8 p.*) *Autor: Jaan Kalda.*



Paneme tähele, et ükski kiirefragment ei ole teisega samal sirgel. [**1 p.**] See tähendab, et kõikide kiirefragmentide puhul on tegemist kas erinevate kiirtega või sama kiire fragmentidega enne ja pörast peegeldumist. [**1 p.**] Et kiiri on kokku ainult kolm, siis vähemalt kaks fragmenti peavad olema pärit samalt kiirelt, üks enne ning teine pärast peegeldumist. [**1 p.**] Kui me suudame kindlaks teha, millised on need kaks fragmendipaari, siis saame leida peegli asukoha kui kahe kiirepaari pikenduste lõikepunkte ühendava joone. Viis fragmenti annavad pikendades viis sirget, mis lõikuvad paarikaupa kümnes erinevas punktis. Pikendame kõiki kiiri lõikumisteni ja leiame need 10 lõikepunkti (9-10 lõikepunkti: [**2 p.**] ; 6-8 lõikepunkti: [**1 p.**]). Ühendame need 15 lõikepunktipaari, mida ühendav joon saab olla peegliks (st mis ei ole juba ühendatud fragmendipikendusega), joonega (punased jooned joonisel) (11-15 joont: [**2 p.**]; 6-10 joont: [**1 p.**]). Leiame punaste joonte hulgast sellise, mis sobib peegliks: joon moodustab vastavalt võrdsed nurgad lõikuvate kiirtega, (joonisel on võrdsed nurgad märgitud roheliste ja siniste kaarekestega ning peegli asukoht jämeda punase joonega). [**1 p.**]

6. (*MUST KAST*) (*8 p.*) *Autor: EFO žürii.*



Kuna lüliti asend muudab takistust, siis peab lüliti ühendama süsteemist välja vähemalt ühe takisti nii, et süsteemist läheb vool ikkagi läbi. Seega peab süsteemis esinema rööpühendus. [**1 p.**].
Üheks võimaluseks on ühendada takistid joonisel näidatud viisil [**2 p.**].
Kui lüliti on avatud, ülemisest takistist vool läbi ei lähe ning kaks alumist takistit on omavahel ühendatud jadamisi.
Kui lüliti on suletud, on parempoolsed takistid ühendatud rööbiti.
Kuna süsteemi takistused peavad olema sõltuvalt lüliti asendist $15\,\Omega$ ja $20\,\Omega$, siis peab olema ühe takisti takistus $10\,\Omega$. [**2 p.**]
Seega, kui lüliti on avatud, on süsteemi kogutakistus

$$R_{\text{lahti}} = R + R = 20\,\Omega. \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

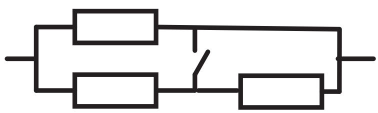
Kui lüliti on suletud, on rööpühenduse kogutakistus

$$\frac{1}{R_{\text{rööp}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \qquad \Rightarrow \qquad R_{\text{rööp}} = 5\,\Omega. \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

Süsteemi kogutakistus on seega suletud lüliti korral

$$R_{\text{kinni}} = R + R_{\text{rööp}} = 15\,\Omega. \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

Lahendus 2



Kuna lüliti asend muudab takistust, siis peab lüliti ühendama süsteemist välja vähemalt ühe takisti nii, et süsteemist läheb vool ikkagi läbi. Seega peab süsteemis esinema rööpühendus. [**1 p.**].
Teiseks võimaluseks on ühendada takistid joonisel näidatud viisil nii,

et lüliti lühistab ühe takisti [**2 p.**]. Kui lüliti on avatud, on üks takisti rööbiti kahe teise takistiga..
Kui lüliti on suletud, siis parempoolsest takistist vool läbi ei lähe.
Kuna süsteemi takistused peavad olema sõltuvalt lüliti asendist $15\,\Omega$ ja $20\,\Omega$, siis peab olema ühe takisti takistus $30\,\Omega$. [**2 p.**]
Seega süsteemi kogutakistus on avatud lüliti korral

$$\frac{1}{R_{\text{lahti}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} \qquad \Rightarrow \qquad R_{\text{lahti}} = 20\,\Omega. \qquad [\mathbf{2\ p.}]$$

ning suletud lüliti korral

$$\frac{1}{R_{\text{kinni}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \qquad \Rightarrow \qquad R_{\text{kinni}} = 15\,\Omega. \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

7. (*ELEKTRISKEEM*) (*10 p.*) *Autor: EFO žürii.*
Vooluringis on neli takistit ühendatud ruudukujuliselt ruudu erinevatesse külgedesse ning üks takisti paikneb ruudu diagonaalil. Selliseid ruute on jadamisi ühendatud kaks.

Nii ruudu ülemises kui ka ruudu alumises kahes küljes on kaks takistit ühendatud jadamisi ning kummagi jada takistus on

$$R_j = R + R = 2R. \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

Ruudu kaks vastastippu (ülemine ja alumine) on ka takistiga ühendatud, kuid selles takistis voolu ei ole. Skeemi ülemine ja alumine haru on sümmeetrilised, seega on pinge nii ülemise kui ka alumise haru esimese takisti otstel sama suur [**1 p.**]
ning vertikaalselt paikneva takisti otstel pinge puudub. [**1 p.**]
Seetõttu ei teki vertikaalselt paiknevas takistis elektrivoolu [**1 p.**]
ning selle takisti takistust ei ole tarvis arvestada. [**1 p.**]

Ruudu ülemiste takistite jada ja alumiste takistite jada on ühendatud rööbiti. Seega on ruudu kogutakistus

$$R_r = \frac{2R}{2} = R. \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

Kaks samasugust ruutu on ühendatud jadamisi. Vooluringi kogutakistus on seega

$$R_k = R + R = 2R \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

Ohmi seadusest

$$I = \frac{U}{R_k} \quad [\mathbf{1\ p.}]$$

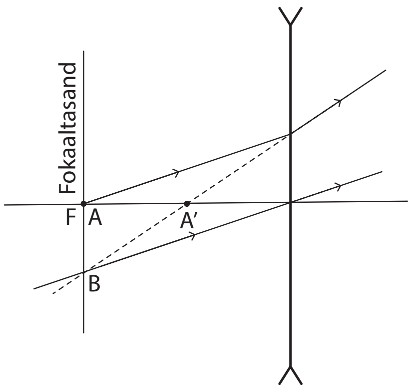
saame, et

$$R_k = \frac{U}{I} = 3\,\Omega \qquad [\mathbf{1\ p.}]$$

ning

$$R = \frac{R_k}{2} = 1{,}5\,\Omega \quad [\mathbf{1\ p.}].$$

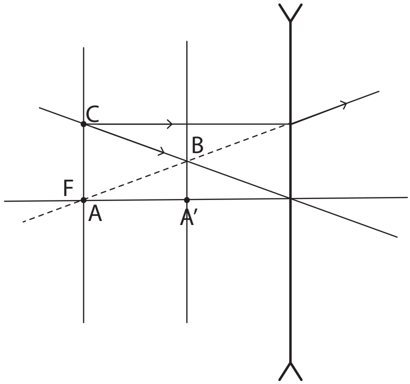
8. (*NÄIV KUJUTIS*) (*10 p.*) *Autor: EFO žürii.*



Kuna lääts tekitab näiva kujutise, mis asub läätsele lähemal kui ese, peab olema tegemist nõgusläätsega. [**2 p.**]
Kuna ese asub optilisel peateljel, siis saame leida kujutise asukoha konstrueerides abikiired. Kõigepealt märgime optilisele peateljele eseme ning kujutise täpselt läätse ja eseme vahele. [**1 p.**] Tõmbame esemest suvalise kiire läätseni [**1 p.**] ning selle kiirega paralleelse kiire läbi läätse keskpunkti. [**2 p.**] Nõguslääts hajutab kiired nii, et kiirte pikendused kohtuvad fokaaltasandil [**2 p.**] (joonisel punkt B). Kuna fokaaltasand läbib eseme A asukohta, siis asub ka fookus punktis A. [**2 p.**]

Märkus: Korrektne joonis koos kõigi vajalike kiirtega annab maksimumpunktid ka ilma selgituseta.

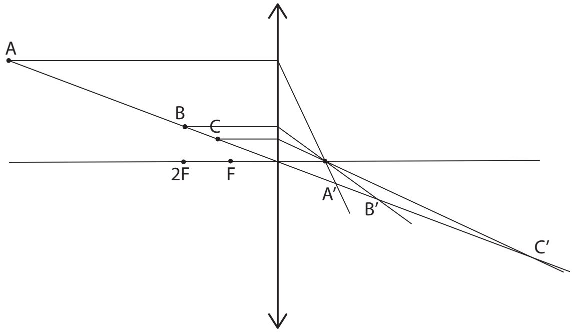
Lahendus 2



Kuna lääts tekitab näiva kujutise, mis asub läätsele lähemal kui ese, peab olema tegemist nõgusläätsega. [**2 p.**]
Kuna ese asub optilisel peateljel, siis saame leida kujutise asukoha, leides punkti C kujutise asukoha. [**1 p.**] Kui punkt C ja ese A asuvad läätsega paralleelsel tasandil, siis peavad ka eseme ja punkti C kujutised asuma läätsega paralleelsel tasandil. [**1 p.**] Konstrueerime punktist C kiire läbi läätse keskpunkti. [**1 p.**] Tõmbame eseme kujutisest A' läätsega pralleelse tasandi. [**1 p.**] Punktis B asub punkti C kujutis. [**1 p.**] Tõmmates punktist C paralleelse kiire läätseni ning teades, et kiir hajub nii, et kiire pikendus läbib peab läbima punkti B [**1 p.**] ning lõikab optilist peatelge fookuses. [**1 p.**] Seega fookus asub eseme A asukohas. [**1 p.**]

Märkus: Korrektne joonis koos kõigi vajalike kiirtega annab maksimumpunktid ka ilma selgituseta.

9. (*KÄRBES LENDAB*) (*12 p.*) *Autor: EFO žürii.*



Kuna kärbes lendab otse oma kujutise poole, siis peab ta lendama läätse keskpunkti poole. [**1 p.**] Kärbes ja tema kujutis asuvad alati sirgel AC'. [**1 p.**]
Kui kärbes lendab punktist A punkti B, siis kujutis liigub punktist A' punkti B'. Jooniselt on näha, et kärbse kujutis liigub aeglasemalt kui kärbes. Konstrueerides punktide A ja B vahele veel punkte on näha, et kujutise kiirus on järjest suureneb, kui kärbes läheneb punktile B. [**2 p.**] Kui kärbes asub läätsest kahekordse fookuskauguse kaugusel (punkt B), siis asub ka kujutis läätsest kahekordse fookuskauguse kaugusel (punkt B'). [**1 p.**] Sellises kohas on kärbse ja tema kujutise kiirused võrdsed, seega on kärbse ja tema kujutise kiirus teineteise suhtes $v_{min} = 0\,\mathrm{m/s}$. [**2 p.**]
Kui kärbes liigub punktist B fookaaltasandi suunas, siis kujutise kiirus järjest suureneb [**2 p.**] ning vahetult enne fokaaltasandile jõudmist on kujutise kiirus lõpmatult suur ($v_{max} = \infty\,\mathrm{m/s}$) [**2 p.**]. Seega on kujutise kiirus kärbse suhtes maksimaalne siis, kui kärbes on väga lähedal fokaaltasandile ehk kärbes asub läätse tasandist fookuskauguse kaugusel. [**1 p.**]

10. (*FILM*) (*12 p.*) *Autor: EFO 2012 piirkond.*
Ratas näib seisvat, kui järgmise kaadri ajaks on järgmine kodar jõudnud sama koha peale, kus eelmise kaadri ajal oli eelmine kodar. [**2 p.**] Kahe kaadri vahelise ajavahemiku $t_1 = 1/f$ [**2 p.**] jooksul pöördub ratas ühe kodara võrra edasi [**1 p.**] ning N korda pikema aja $t_N = N/f$ jooksul teeb ta täispöörde. [**2 p.**] Täispöördega liigub ratas edasi vahemaa s,

seega on ratta kiirus

$$v_0 = \frac{sf}{N} = 1{,}7\,\mathrm{m/s} = 6\,\mathrm{km/h} \qquad [\mathbf{3\ p.}]$$

Pilt kordub kui jalgratta kiirus on $v = nv_0$, kus n on täisarv. [**2 p.**]

E1.(*MÜNT*)(*10 p.*) *Autor: EFO žürii.*

Mündi paksust ei ole võimalik joonlauaga täpselt mõõta. Kasutame mündi paksuse mõõtmiseks volditud paberilehtedest torni ning vaatame, mitme paberilehe paksune on münt.

Kõige parem on voltida paberi pikemat külge, mida saab kergesti 16-ks voltida. Kasutades paberi kahte pikemat külge, saab kasutada kuni 32 lehe paksust paberitorni.

Asetame mündi lauale ning paberitorni tema kõrvale. Leiame, kui paks peaks olema paberitorn, et ta oleks mündiga sama kõrge. Kasutades tavalist paljunduspaberit ($80\,\mathrm{g/cm^2}$), saame ühe mündi paksuseks $h_m = 16\,$paberit.

Mündi servas oleva vao laiust on raske mõõta, parem on mõõta mündi servas oleva kõrgema osa laiust. Asetame mündi lauale ning paberitorni tema kõrvale ja leiame kõrgema osa paksuse. Kasutades tavalist paljunduspaberit ($80\,\mathrm{g/cm^2}$), saame ühe mündi paksuseks $h_k = 5\,$paberit.

Mündi servas oleva vao paksus on seega $h_v = h_m - 2 \cdot h_k = 6\,$paberit

Paberilehe paksuse saame kõige täpsemini mõõta, kui mõõdame 32 paberilehe paksuse torni paksuse, milleks saame $h_{32} = 3{,}3\,\mathrm{mm}$. Ühe paberi paksus on seega $h_p \approx 0{,}1\,\mathrm{mm}$

Mündi servas oleva vao laius on seega $h_v = 0{,}6\,\mathrm{mm}$.

Hindamisjuhend:
Paberilehtedega paksuse mõõtmise idee - [**2 p.**]
Paberilehe paksuse mõõtmine ja arvutamine 32 lehe paksuse torniga - [**2 p.**]
Mündi paksuse mõõtmine paberilehtedega - [**2 p.**]
Mündi servas oleva kõrgema osa mõõtmine paberilehtedega - [**2 p.**]
Mündis servas oleva vao paksuse arvutamine - [**2 p.**].

E2.(*SÜSTAL*)(*12 p.*) *Autor: EFO žürii.*
Kasutame süstalt laua serval kangina. Täpsema lugemi võtmiseks tuleb süstla skaala asetada allapoole, siis saab laua servalt täpsemini lugemi võtta.

Sätime tühja süstla korral süstla kolvi 5 ml peale ning leiame laua serval tühja süstla masskeskme. Edaspidistes arvutustes võime eeldada, et kogu süstla mass asub masskeskmes.

Võtame süstlasse $V_v = 5\,\mathrm{ml}$ vett ning leiame laua serval tasakaalupunkti. Ühel kangi poolel on $V_v = 5\,\mathrm{ml}$ vett massiga $m_v = \rho V_v = 5\,\mathrm{g}$ ning teisel poolel süstla mass m_s. Leiame vee keskpunkti kauguse l_v toetuspunktist ning süstla masskeskme kauguse l_s toetuspunktist. Kangi tasakaalust saame kirja panna seose, millest leiame süstla massi

$$m_v l_v = m_s l_s \qquad \Rightarrow \qquad m_s = \frac{m_v l_v}{l_s} = \approx 10\,\mathrm{g}$$

Hindamisjuhend:
Süstla kangina kasutamise idee - [**2 p.**]
Tühja süstla masskeskme leidmine nii, et süstla kolb on selle ruumala juures, kui palju võetakse süstlasse pärast vett - [**3 p.**]
Veega süstla tasakaalupunkti leidmine ning jõuõlgade mõõtmine - [**2 p.**]
Kangi reegli väljakirjutamine ja süstla massi arvutamine - [**2 p.**]
Süstla massi leidmine täpsusega ±0,5 g [**3 p.**], täpsusega ±1,0 g [**2 p.**].