

# Eesti koolinoorte XLVI täppisteaduste olümpiaad, füüsika lõppvoor, keskkooli lahendused

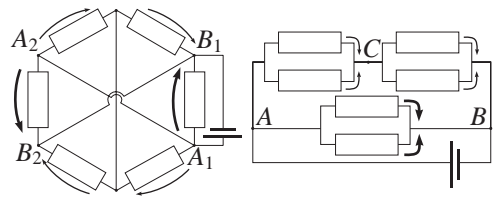
**1.** Kiirenduseta liikumise puhul on jõud tasa-kaalus ning seetõttu peab poiss tõmbama jõuga  $\vec{F} = \vec{F}_h + \vec{N} + m\vec{g}$ , kus maapinna toe-reaktsioon  $\vec{N} = -m\vec{l}\vec{g}/L$  ja horisontaalse hõõrdejõu  $\vec{F}_h$  moodul  $F_h = \mu N$ . Kui suunata  $x$ -telg poisi liikumise suunas ja  $y$  telg üles, siis on  $\vec{F}$  projektsioon horisontaaltelele  $F_x = -\mu mg l/L$  ning vertikaaltelele  $F_y = mg(L - l)/L$ ; mooduli leiame Pythagorase teoreemist,  $F = mg\sqrt{(1 - l/L)^2 + (\mu l/L)^2} \approx 10\text{N}$ .

**2.** Pumpamisega eemaldatakse veeaur, suhteline õhuniiskuse vee kohal hoitakse madal ning see tagab pidevalt intensiivse aurustumise. Aurustumiseks vajalik soojus saadakse teatud osa vee jäätumise arvelt. Edasi hakkab jää sublimeeruma ning selleks vajalik soojus saadakse jää jahtumise arvelt. Jääkogus on maksimaalne siis, kui kogu vesi on muutunud jääks ja auruks, kuid jää pole veel alla  $0^\circ\text{C}$  jahtunud. Jää massi leiame soojusbalansist:  $(m - m_j)\lambda = m_j r \Rightarrow m_j = m/(1 + r/\lambda) \approx 8,7\text{g}$ .

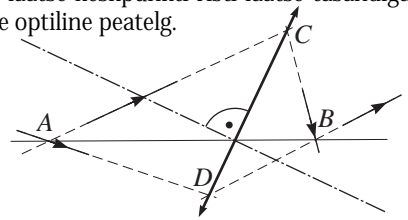
**3.** Poisi kiirus maa suhtes on vee voolukiiruse ja poisi ujumiskiiruse vektoriaalne summa. Oletame, et poisi ujumiskiiruse moodul  $v$  on fikseeritud ja ta proovib erinevaid ujumissuundi. Moodustub vektorite kolmnurk, milles kahe vektori moodulid ning ühe vektori suund on fikseeritud. Kui  $u > v$ , siis nurk  $\alpha$  vektorite summa  $\vec{u} + \vec{v}$  ja voolukiiruse  $\vec{u}$  vahel ei saa olla kuitahes suur, vaid on igal juhul väiksem kui  $\arcsin(v/u)$ . See saab ilmseks siis, kui joonistame vektori  $\vec{u}$  ning vaatame, millise punktihulga moodustavad  $\vec{u}$  lõpp-punktid lähtuva vektori  $\vec{v}$  lõpp-punktid tema erinevate suundade korral. Selleks on ringjoon raadiusega  $v$  ning nurk  $\alpha$  on maksimaalne siis, kui vektor  $\vec{v} + \vec{u}$  on ringjoone puutujaks, s.o.  $\vec{v}$  ja  $\vec{v} + \vec{u}$  on risti. Niisiis on poisi kiirus etteantud ujumissuuna puhul minimaalne siis, kui poisi liikumiskiirused vee ja maa suhtes on risti. Järelikult  $v = u \sin \alpha$ , kus  $\cos \alpha = h/l$ . Asendades  $\alpha$  teisest võrrandist esimesse leiame  $v = u\sqrt{1 - (h/l)^2} \approx 1,7\text{ m/s}$ .

**4.** Sümmeetria põhjal võime öelda, et ampermeetri  $A_1$  näit on null. Et ampermeetrid on ideaalsed, siis nende takistus on null; seda arvestades on saadud juuresolev ekvivalentne skeem.

See kujutab endast jada- ja rööpühenduste kombinatsiooni summaarse takistusega  $r = 1/3\Omega$ . Seega ampermeetri  $A_2$  näit  $I_2 = E/r = 3A$ . Joonisel on võrdse potentsiaaliga punktide jaoks kasutatud samu tähti ning peened nooled kujutavad  $i_1 = I_2/6 = 0,5$  amprist ja jämedad nooled  $i_2 = I_2/3 = 1$  amprist voolu. Sümmeetria põhjal on ampermeetrite  $A_3$  ja  $A_4$  näidud võrdsed ning piisab, kui leiame ühe neist. Kirjutades välja Kirchoffi seaduse punktist  $A_2$  lähtuvate voolude jaoks näeme, et ampermeetri  $A_3$  näit on  $i_1$  ja  $i_2$  summa, s.o.  $I_3 = I_4 = 1,5A$ .



**5.** Kõigepealt pikendame kiired mõlemale poole (vt. joonist). Ühendades punktid  $C$  ja  $D$ , leiame läätse asukoha — see on pind, millel toimub kiirte murdumine. Et kõik kiired, mis lähtuvad punktist  $A$ , peavad koonduma punktis  $B$  ja läätse keskpunkti läbib kiir ei murdu, siis peab viimane asuma joonte  $CD$  ja  $AB$  lõikepunktis. Sirge, mis läbib läätse keskpunkti risti läätse tasandiga, on läätse optiline peatelg.



**6.** Kombineerides seadusi  $pV^\gamma = \text{Const.}$  ja  $pV/T = \text{Const.}$  leiame, et  $p^{1-\gamma}T^\gamma = \text{Const.}$ , kus  $T$  on absoluutne temperatuur. Tekstis toodud ligikaudse valemi analoogia põhjal võime kirjutada  $(1 - \gamma)\Delta p/p = -\gamma\Delta T/T$ . Rõhkude vahe maapinnal ja mäe otsas leiame õhusamba rõhuna,  $\Delta p = \rho gH$ . Seega  $\Delta T = (1/\gamma - 1)T\rho gH/p_0 \approx -2,1\text{ K}$  ja temperatuur mäe otsas  $t_1 = t_0 + \Delta T \approx 18^\circ\text{C}$ .

**7.** Eelduse kohaselt suudab inimene silma maksimaalse akomodatsiooni korral tekitada võrkkestale kujutise esemest, mis asub 1 m kaugusel. Kontaktläätse kasutamise korral peab see

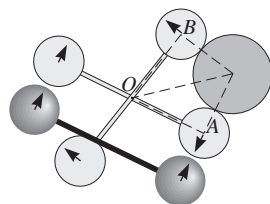
kaugus vähenema normaalse 12 cm-ni. Teisisõnu, kontaktlääts peab tekitama  $a = 12$  cm kaugusel asuvast esemest näilise, päripidise ja suurendatud kujutise  $b = -1$  m kaugusele (miinusmärk tähistab seda, et kujutis on näiline). Selleks sobib koondav lääts, mille tugevuse leiame läätse valemist  $D = 1/f = 1/a + 1/b \approx 7.3$  dptr.

**8.** Traaditüki paneb liikuma magnetjõud  $F = BIl$ , kus  $l$  on traaditüki aktiivosa pikkus ( $l = 0,1$  m). Kiirusega  $v$  liikuvast traaditükis toimib vooluallika elektromotoorjõule  $E$  (Lenzi reegli kohaselt) vastassuunaline induktsiooni emj.  $Blv$ , mistõttu summaarne emj. on  $E - Blv$ . Voolutugevus  $I = (E - Blv)/R$ , kus  $R = 1 \Omega$ . Liikumist takistab ka hõõrdejõud  $\mu mg$ . Ühtekokku kiirendus  $a = (F/m) - \mu g = Bl(E - Blv)/mR - \mu g$ . Alghetkel ( $t = 0, v = 0$ ) saame  $a_0 = (BlE/mR) - \mu g = 8,0$  m/s<sup>2</sup>. Vastavalt lubatud lihtsustusele võime kiiruse leidmisel lugeda, et 1 m kaugusel stardipunkti on elektromagnetilise induktsiooni mõju veel tühine (kiirus on väike), s.t.  $E \gg Blv$ . Sel juhul on kõrvalekalle ühtlaselt kiirenevast liikumisest tühiselt väike ja me võime kiiruse hindamisel lähtuda kinemaatika valemist  $v^2 = 2as$ , mis meie juhul annab  $v = \sqrt{2a_0s/2} = 4,0$  m/s. Induktsiooni emj. on siis  $Blv = 0,04$  V. Lähtudes teadmistest, et  $v = 4,0$  m/s., otsitava kiirenduse täpsustatud väärtuse  $a = 7,92$  m/s<sup>2</sup>.

**9.** Asetsegu bakter Päikesest kaugusel  $r$  ning olgu Päikese kiirgusvoo tihedus sellel kohal  $I = L_{\odot}/4\pi r^2$ . Tähistagu  $p_0$  ühe footoni keskmist impulssi ja  $E_0 = cp_0$  — keskmist energiat. Leiame kiirguse poolt absoluutselt mustale, kiirguse levimise suunaga risti olevale pinnale avaldatava rõhu. Pinnatükis  $\Delta S$  neeldub aja  $\Delta t$  vältel  $\Delta N = I\Delta S\Delta t/cp_0$  footonit, mis tekitavad vastavalt Newtoni 2. seadusele jõu  $\Delta F_f = \Delta p/\Delta t = p_0\Delta N/\Delta t = \Delta SI/c$ . Siit rõhk  $P = \Delta F_{hv}/\Delta S = I/c$ . Valgus avaldab seega bakterile jõudu  $F_{hv} = I\pi R^2/c$ , kus  $R$  on bakteriradius. Päikese poole suunatud gravitatsioonijõud on  $F_g = GM\frac{4}{3}\pi R^3\rho/r^2$ . Bakteri maksimaalsed mõõtmised, mille korral ta hakkab päikesest eemalduma, on määratud tingimusega  $F_{hv} = F_g$ , millest  $R = 3I\pi r^2/4GMc\rho = 3L/16\pi GMc\rho = 2,3$   $\mu$ m. ja ei sõltu sellest, kui kaugel Päikesest bakter parajasti asub.

**10.** Peale esimest pörget muutub esimese kuu-

li kiirus vastupidiseks, aga teine kuul liigub endise kiirusega edasi. See tähendab, et massikeske jääb paigale ning hantel hakkab ümber massikeskme pöörlema. Pöörlemine toimub seni, kuni teine kuul pörkab ka vastu tulpa. Teise pörke käigus muudab teine kuul oma kiiruse vastupidiseks, kuna esimese kuuli kiirus jääb sedapuhku muutumatuks. Et enne teist pörget olid kuulide kiirused vastassuunalised (hantel ju pöörles ümber massikeskme), siis peale teist pörget pöörlemine peatub ja hantel hakkab kulgevalt eemalduma, kusjuures kiirusvektor on risti hantli teljega, v.t. joonis. Jooniselt on lihtne näha, et eemaldumisenurk  $\alpha$  on võrdne nurgaga  $AOB$  ning seega  $\alpha = 2 \arctan(R+r)/(r+l)$ .



**E1.** Kui ühendame ampermeetri ja voltmeetri jadamsi, siis mõõdab ampermeeter voltmeetril läbiva voolu tugevust ning voltmeeter mõõdab pinget iseenesel. Pinge ja voolu suhe on voltmeetri takistus (2 p). Sobilik mõõtepiirkond voltmeetril on 20 V ja ampermeetril 200  $\mu$ A (1 p). Kui ühendame ampermeetri ja voltmeetri rööbiti, siis mõõdab ampermeeter vooluallika lühisvoolu tugevust (voltmeetri suure takistuse tõttu on teda läbiv vool tühine) ning voltmeeter mõõdab pinget rööpühenduse otstel. Pinge ja voolu suhe on ampermeetri takistus (2 p). Mõõtepiirkondade valik: ampermeetril 10 A, voltmeetril 20 V või 2000 mV (1 p). Korrektset mõõtmistulemusd takistuse leidmiseks: voltmeetril 1 p, ampermeetril 1 p; korrektset arvutused: kumbki 1 p, mõõtmistäpsuse hinnang — kumbki 1 p.

**E2.** Idee võrrelda mm-paberi jaotusi, mis paistavad läbi luubi ja selle kõrval (3 p), reaalsed mõõtmistulemused (1 p), tulemus, et suurendus ei sõltu läätse ja silma vahekaugusest (1 p), tulemus, et suurendus suureneb kui läätse kaugus objektist suureneb (1 p), sellel suurenemisel on piir (1 p), suurenduse vähemalt kolme väärtuse mõõtmine (1 p), tulemuse graafiline esitamine (õiged teljed, ühikud-tähised 2p, mittelineaarne tõusev ja sile joon graafikul 1 p), veahinnang 1 p, järelalus 1 p.