Eesti koolinoorte 49. füüsikaolümpiaad

23. veebruar 2002. a. Piirkondlik voor. Keskkooli ülesannete lahendused

1. ülesanne

Traadi takistus $R = \rho L/S$, kus L — pikkus, S — ristlõige, ρ — eritakistus. Traadi ruumala $V = SL$ ei muutu venitamisel: $SL = V = V' = S'L'$. Traadi takistuse suhteline muutus

$$\frac{R'-R}{R} = \frac{R'}{R} - 1 = \frac{SL'}{S'L} - 1 = \frac{L'^2}{L^2} - 1.$$

Tähistades $L' - L = \Delta L$, saame

$$\frac{R'-R}{R} = \left(\frac{\Delta L}{L} + 1\right)^2 - 1 \approx 2\,\frac{\Delta L}{L} = 0{,}02 = 2\%.$$

Hindamine: Takistuse valem mõõtmete ja eritakistuse kaudu — *1 p.* Ruumala jäävuse kasutamine — *1 p.* Valem takistuse muutuse jaoks — *1 p.* Lähendusvalem — *0,5 p.*, arvväärtus — *0,5 p.*

2. ülesanne

Olgu takistusjõu suurus F_t (see ei sõltu kuulikese liikumise suunast) ja otsitav tihedus ρ_2. Siis $F_t + \rho_v V g = \rho_1 V g$, ning $F_t + \rho_2 V g = \rho_v V g$. Peale F_t elimineerimist leiame $\rho_2 = 2\rho_v - \rho_1$.

Hindamine: Üks tasakaaluvõrrand — *2 p.*, mõlemad koos — *3 p.* Süsteemi lahendamine — *2 p.*

3. ülesanne

Selleks, et mingi keha saaks liikuda ühtlaselt ja sirgjooneliselt, peavad kõik temale mõjuvad jõud olema tasakaalustatud. Meie ülesandes mõjuvad osakesele kaks jõudu, mis peavad üksteist tasakaalustama: raskusjõud, sest osake omab massi, ja Lorentzi jõud, sest osake omab laengut ja kiirust. Osakese kiiruse vektor peab seejuures kindlasti omama magnetvälja induktsiooni vektori suunaga risti olevat komponenti, sest vastasel korral poleks Lorentzi jõud talle mõjunud ja raskusjõud jääks tasakaalustamata, mistõttu poleks osakese ühtlane liikumine võimalik. Selleks, et Lorentzi jõud saaks tasakaalustada raskusjõudu, peab ta olema sellega arvuliselt võrdne ja vastassuunaline. Seega

$$mg = QBv \quad \Rightarrow \quad v = \frac{mg}{QB}\,.$$

Hindamine: Lorentzi jõu avaldise tundmine — *1 p.* Vektorite suundade õige mõistmine — *1 p.* Tasakaaluvõrrand — *2 p.*, kiiruse avaldamine — *1 p.*

4. ülesanne

Ratas näib seisvat, kui järgmise kaadri ajaks on järgmine kodar jõudnud sama koha peale, kus eelmise kaadri ajal oli eelmine kodar. Kahe kaadri vahelise ajavahemiku $1/f$ jooksul pöördub ratas ühe kodara võrra edasi ning N korda pikema aja N/f jooksul teeb ta täispöörde. Täispöördega liigub ratas edasi vahemaa p, seega on ratta kiirus $v_0 = pf/N$, numbriliselt $v_0 = 2{,}5 \cdot 24/36 \approx 1{,}7\,\mathrm{m/s} = 6\,\mathrm{km/h}$. Pilt kordub kui jalgratta kiirus on $v = nv_0$, kus n on täisarv.

Hindamine: Ratta näilise seismise seletamine — *3 p.* Ratta täispöörde aja arvutamine — *1 p.* Ratta kiiruse arvutamine — *1 p.* Õige numbriline vastus (ükskõik mis ühikutes) — *1 p.* Kui valemite asemel on kasutatud numbritega arvutamist, siis võtta maha *0,5 p.*

5. ülesanne

Pindalaühiku ja tunni kohta kirjutatud soojusbalanss:

$$(\rho_v \chi - \mu)(t_0 - t)\, c = \mu\lambda,$$

kus μ on pindalaühiku ja tunni kohta moodustuva jää mass ning $t_0 = 0°\mathrm{C}$. Seega

$$\mu = \frac{\rho_v \chi (t_0 - t)\, c}{\lambda + (t_0 - t)\, c}$$

ning järelikult iga tund lisanduva jääkihi paksus on $h = \mu/\rho_j$, seega

$$h = \chi \frac{\rho_v}{\rho_j} \frac{1}{1 + \lambda/(t_0 - t)\, c} \approx 0{,}26\,\mathrm{mm}.$$

Hindamine: Soojusbilansi võrrand — *4 p.* μ avaldamine — *1 p.* Jääkihi paksuse avaldise saamine — *1 p.* Õige arvväärtus — *1 p.*

6. ülesanne

Märkus: ülesannet on hulga mugavam lahendada kasutades kiirendusega a liikuvat mitteinertsiaalset tasutsüsteemi.

Olgu pinge niidis F_n ja kuulikese mass m. Kuulikese liikumisvõrrandid:

$$\text{horisontaalsihil:} \quad ma = F_n \sin\alpha, \qquad \text{vertikaalsihil:} \quad 0 = F_n \cos\alpha - mg.$$

Siit saame

$$\tan\alpha = \frac{a}{g}, \qquad \frac{F_n}{m} = \sqrt{a^2 + g^2}\,.$$

Asendades F_n/m jaoks leitud avaldise ülesande tekstis toodud valemisse, saame

$$T = \frac{T_0}{\sqrt[4]{1 + a^2/g^2}}$$

Hindamine: Liikumisvõrrandid — *2 p.* igaüks. Avaldised $\tan\alpha$ ja F_n/m jaoks — *1 p.* igaüks. Lõppavaldis — *1 p.*

7. ülesanne

Olgu vee kiirus vooliku juures v_0. Veel kulub maapinnani jõudmiseks aega $t = \sqrt{2h/g}$, nii et $L = v_0 t = v_0\sqrt{2h/g}$, millest $v_0 = L\sqrt{g/2h}$. Vee kulu on siis $Q = Sv_0$. Asendades leiame $Q = SL\sqrt{g/2h} = 1{,}8$ l/s.

Hindamine: Avaldis aja t jaoks — *2 p.* Avaldis kauguse L jaoks — *1 p.* Avaldis kiiruse v_0 jaoks — *1 p.* Avaldis veekulu Q jaoks — *2 p.* Õige asendamine ja arvuline vastus — *1 p.*

8. ülesanne

Kukkumiskiirus on $v = \sqrt{2gH}$. Vahetult peale põrget jääb karp paigale, kuid koormis liigub endiselt kiirusega v. Koormis alustab vedru otsas võnkumist. Vedru lükkab karpi ülespoole kõige tugevamalt siis, kui koormis jõuab kõige ülemisse asendisse. Sel hetkel on koormise alla suunatud kiirendus $v\omega$ ning seega on pinge vedrus $mv\omega$. Piirjuhtumil (kui karp on üles hüppamise ääre peal) on laua toereaktsioon null ning karbi jaoks saab kirjutada tasakaalutingimuse $m\sqrt{2gH}\omega = mg$. Siit saab avaldada kõrguse, $H = g/2\omega^2$.

Märkus: Valemit $a_{\max} = \omega v_{\max}$ võib teada, kuid seda pole ka raske avaldada elimineerides Newtoni seadusest $ma_{\max} = kx_{\max}$ (kus k tähistab vedru jäikust) maksimaalse nihke $x_{\max}$, kasutades selleks energia jäävust, $mv_{\max}^2/2 = kx_{\max}/2$.

Hindamine: Kukkumiskiiruse v arvutamine — *2 p.* Väide, et karp jääb paigale — *1 p.* Väide, et koormis liigub kiirusega v vahetult peale põrget — *1 p.* Väide, et koormis alustab võnkumist — *1 p.* Väide, et vedru lükkab karpi kõige tugevamini siis, kui ta on kõige rohkem kokku surutud — *1 p.* Avaldis pinge jaoks vedrus — *2 p.* Tasakaalutingimuse avaldis — *1 p.* Avaldis kõrguse jaoks — *1 p.*

9. ülesanne

Auto rataste järgi on hea mõõta, kui palju on auto edasi nihkunud. Joonisel on see $x = 5\,\mathrm{mm}$. Kuivõrd pildi laius on $a = 84{,}5$ mm ja pildivälja reaalne laius on $A = Ll_0/F = 7{,}2$ m, siis jõudis auto pildistamise ajal nihkuda kaugusele $X = xA/a \approx 0{,}43$ m. Teisest küljest, $X = v\tau$, millest $v = X/\tau \approx 53\,\mathrm{m/s}$ ($\approx 192\,\mathrm{km/h}$).

Hindamine: Kui nihe on leitud täpsusega ± 1 mm, siis — *3 p.*, sõltumata sellest, millise detaili väljavenitatuse järgi see mõõdeti. Kui nihe on leitud täpsusega ± 2 mm — *2 p.*, iga muu tulemus — *1 p.* Kui pildi laius on leitud täpsusega ± 1 mm — *1 p.*, iga muu tulemus — *0,5 p.* Venekeelses tekstis on joonis veidi väiksem, selle jaoks oleks nihe $x = 4$ mm ja laius $a = 71$ mm. Pildivälja reaalse laiuse leidmine — *2 p.* Avaldised auto reaalse nihke leidmiseks — *1 p.* igaüks. Kiiruse avaldamine ja arvutamine — *1 p.* Sõltuvalt mõõdetud pikkustest võib vastus tulla teine; kui vastus vastab konkreetsetele mõõtetulemustele (mõistlik ümardamine on lubatud ja soovitavgi), siis õige vastuse eest ühikutest sõltumata — *1 p.*

10. ülesanne

(a)

$$I=\frac{5\mathcal{E}}{5r}=\frac{\mathcal{E}}{r}\quad\Rightarrow\quad U=\mathcal{E}-Ir=0.$$

(b)

$$I=\frac{3\mathcal{E}}{5r}=\frac{3\mathcal{E}/5}{r}\quad\Rightarrow\quad U=\mathcal{E}+Ir=\frac{8}{5}\,\mathcal{E}.$$

Hindamine:

Avaldised voolutugevuse jaoks — *3 p.* igaüks. Avaldised pingete jaoks — *2 p.* igaüks.

E1. ülesanne

Idee — mõõta kõrgus, milleni pall pärast põrget tõuseb. Puudu jäävale osale vastav potentsiaalne energia läks takistusjõu ületamisel tehtavaks tööks. Vastaja peab teadma kineetilise ja potentsiaalse energia valemid ja töö valemit $A=Fs$ — *3 p.* Teeb kordusmõõtmisi ja leiab keskväärtuse — *2 p.* Avaldab õigesti otsitava suuruse — *1 p.* Hindab mõõtevaiga — *2 p.*

E2. ülesanne

1. Kindlaks teha, millist liiki läätsedega on tegu: kontrollida, kas lääts koondab valgust või mitte — *1 p.*

2. Kindlaks teha, kumb on tugevam: panna läätsed kokku ja vaadata kas süsteem koondab valgust või mitte — *1 p.*

3. Leida kumerläätse fookuskaugus: kas kasutada kauget valgusallikat või lähedast; teisel juhul tuleb mõõta ka kaugust valgusallikani ja arvutada läätse valemist $1/a+1/k=1/f$ fookuskaugus f. Idee — *1 p.*, mõõtmised — *1 p.*, valem — *1 p.* ning arvutus — *1 p.*

4. Valemist $D=1/f$ arvutada kumerläätse optiline tugevus D_k. Valem — *1 p.*, õige vastus — *1 p.*

5. Leida eespoolkirjeldatud viisil süsteemi fookuskaugus. Idee — *1 p.*, teostus — *1 p.*

6. Arvutada süsteemi optiline tugevus D — *1 p.*

7. Leida seos süsteemi optilise tugevuse D ja kumer- ning nõgusläätse optiliste tugevuste D_k ja D_n vahel: $D=D_k-D_n$ ning arvutada D_n — *2 p.*

8. Mõõtevea hindamine — *2 p.*