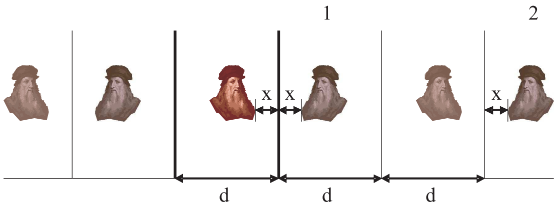
Eesti koolinoorte 57. füüsikaolümpiaad

Lõppvoor. 6. märts 2010. a.

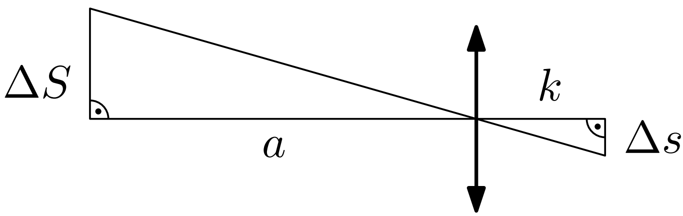
Põhikooli ülesannete lahendused

1. (*PEEGLID*)



Joonisel on vaatleja ja reaalsed peeglid kujutatud tumedamalt.
Kõik peeglite kujutised on üksteisest kaugusel d. Kui vaatleja asub enda ees seisvast peeglist kaugusel x, siis on tema esimese kujutise kaugus sellest peeglist samuti x. Teise samas suunas vaatava kujutise kaugus sellest peeglist on $2d + x$. Seetõttu on kujutiste omavaheline kaugus $2d + x - x = 2d = 6$ m.

2. (*FOTOAPARAAT*)



Auto ja kujutise nihked määravad sarnased kolmnurgad, vt joonist. Seega $\frac{\Delta S}{a} = \frac{\Delta s}{k}$ ja $\delta S = \frac{a\,\Delta s}{k} = 0{,}02$ m. Kuna $v = 90$ km/h $= 25$ m/s, siis säriaeg $t = \frac{\Delta S}{v} = 0{,}0008$ s ehk 1/1250 s.

3. (*JAHUTUSSÜSTEEM*)

Seadme jahutamiseks kuluva jahutusvedeliku massi saame seosest

$$\eta N t = c m \Delta T \quad \Rightarrow \quad m = \frac{\eta N t}{c \Delta T}.$$

Asendame massi tiheduse ja ruumalaga ja avaldame kiiruse:

$$\rho V = \rho S l = \frac{\eta N t}{c \Delta T} \quad \Rightarrow \quad v = \frac{\eta N}{c \Delta T \rho S} \approx 1{,}7\,\mathrm{m/s}.$$

4. (*VEDELIKUD*)

Olgu S_0 anumate aluse pindala ning v vaheseina liikumise kiirus. Aja Δt jooksul tõuseb esimeses anumas vedeliku nivoo kõrgus

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta t v_0}{S_0} + \frac{\Delta t v S}{S_0}$$

võrra, teises anumas aga

$$\Delta h_2 = \frac{\Delta t v_0}{S_0} - \frac{\Delta t v S}{S_0}$$

võrra.

Kuna hüdrostaatiline rõhk nii algselt kui ka pärast peab olema mõlemas anumas toru kõrgusel ühesugune, siis kehtib võrdus $\rho_1 g \Delta h_1 = \rho_2 g \Delta h_2$. Seega

$$\rho_1 \left(\frac{\Delta t v_0}{S_0} + \frac{\Delta t v S}{S_0} \right) = \rho_2 \left(\frac{\Delta t v_0}{S_0} - \frac{\Delta t v S}{S_0} \right)$$
$$\rho_1 (v_0 + vS) = \rho_2 (v_0 - vS)$$

kust

$$v = \frac{v_0(\rho_2 - \rho_1)}{S(\rho_2 + \rho_1)} = 5 \text{ cm/s}.$$

esimese anuma suunas.

5. (*INSTALLATSIOON*)

Käsitleme vardaid kangidena ja kirjutame neile mõjuvate jõumomentide tasakaalud vastavate liigendite suhtes (ehk kangide harilikud tasakaalutingimused).

$$\begin{cases} (mg + T_1)\ell = T_2 \ell & \Longrightarrow \ T_2 = T_1 + mg \underset{\Uparrow}{=} mg \left(\frac{2\ell - a}{2(a-\ell)} + 1 \right) = \frac{mga}{2(a-\ell)} \\ T_1 a = T_2 (2\ell - a) & \Longrightarrow \ T_1 \overset{\Downarrow}{=} \frac{mg}{\frac{a}{2\ell - a} - 1} = \frac{mg(2\ell - a)}{2(a-\ell)} \end{cases}$$

6. (*VOLTMEETER*)

Olgu U vooluallika pinge, R reostaadi pinge ja R_V voltmeetri takistus. Jadaühendusel takistused liituvad ning voolutugevus vooluringis on $I = \frac{U}{R_V + R}$. Voltmeetri näit $U_0 = IR_V = \frac{UR_V}{R_V + R}$. Kui reostaadi takistust vähendada kolm korda, siis on voltmeetri nait

$$U_1 = \frac{UR_V}{R_V + \frac{R}{3}}.$$

Leiame seosest

$$\frac{U_1}{U_0} = \frac{\frac{UR_V}{R_V + \frac{R}{3}}}{\frac{UR_V}{R_V + R}} = \frac{R_V + R}{R_V + \frac{R}{3}} = 2$$

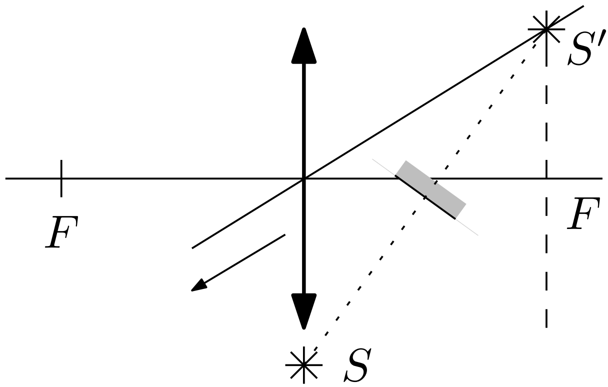
voltmeetri takistuse, mis on $R_V = \frac{1}{3}R$.

Reostaadi takistuse vähendamisel nullini on voltmeetri näit $U_2 = \frac{UR_V}{R_V} = U$. Asendades seosesse voltmeetri takistuse ja võttes pingete suhte, saame voltmeetri näidu, kui reostaadi takistus on null:

$$\frac{U_2}{U_0} = \frac{U}{\frac{UR_V}{R_V+R}} = \frac{\frac{4}{3}R}{\frac{1}{3}R} = 4.$$

Kui reostaadi takistus on null, näitab voltmeeter neli korda suuremat pinget.

7. (*VALGUSKIIRED*)



Peegel tuleb asetada nii, et valguspunkti S kujutis satuks läätse fokaaltasandisse, kuna vaid siis on pärast läätse läbimist kiirtevihk paralleelne. Samuti peab seda kujutist läbima valguskiirega paralleelne läätse optiline telg. Seega peab tasapeegel poolitama lõigu SS' (vt joonist).

8. (*SKEEM*)

Takisti R_1 võime mõlemal juhul skeemist välja jätta, kuna pinge temast vahetult paremal, mis on ka U, on samaväärselt loetav algandmete hulka.

a) Ideaalset voltmeetrit vool ei läbi. Seega on takisteis R_4 ja R_5 voolutugevus 0, Ohmi seaduse järgi on null neil ka pinge. Nad on samaväärsed juhtiva traadijupiga ning voltmeeter näitab pinget takistil R_3. R_2 ja R_3 on jadaühenduses, niisiis läbib takistit R_3 vool tugevusega $I_3 = \frac{U}{R_2+R_3} = \frac{U}{2R}$ ja temal on pinge $U_V \equiv U_3 = I_3R_3 = \frac{U}{2}$.

b) Pinge R_3-l, U_3, langeb ka R_4, voltmeetri (R_V) ja R_5 jadaühendusele, mida läbigu vool I_4. Voolutugevus R_3-s,

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{I_4(R_4 + R_V + R_5)}{R_3} = \frac{I_4(2R + R_V)}{R}.$$

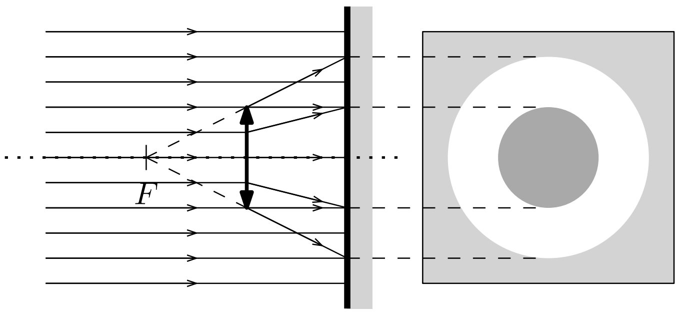
Et sõlmpunktidesse laengut ei koguneks, peab R_2 läbima sama vool mis R_3 ja R_4 kokku. U on R_2-l ja R_3-l mõõdetavate pingete summa.

$$\begin{aligned} U &= (I_3 + I_4)R_2 + I_3R_3 = I_3(R_2 + R_3) + I_4R_2 = \\ &= I_4\left[2(2R + R_V) + R\right] = I_4(5R + 2R_V). \end{aligned}$$

Seesama I_4 läbib ka voltmeetrit; voltmeetri näiduks on pinge tema väljaviikudel ehk

$$U_V = I_4R_V = \frac{UR_V}{5R + 2R_V}.$$

9. (*VALGUSTATUS*)



Läätse fookuskauguse saame seosest $f = \frac{1}{D}$. Tegemist on nõgusläätsega fookuskaugusega 25 cm. Nõguslääts hajutab valgust. Hajunud valguslaigu läbimõõt on läätse läbimõõduga võrreldes

$$\frac{L}{l} = \frac{f + x}{f} = \frac{7}{5}$$

Seega $L = 1{,}4l$ ja valguslaigu pindala läätse pindalast

$$\frac{S}{s} = \frac{\pi(1{,}4l)^2}{\pi l^2} = 1{,}96$$

korda suurem. Järelikult pinna valgustatus läätse taga ekraanil läätse suurusel osal on

$$E_1 = \frac{E}{1{,}96} \approx 5100 \text{ lx}.$$

Nõrgalt valgustatud osa ümber tekib heledalt valgustatud riba, kuna sinna langeb otsene päikesevalgus ja läätsest hajunud valgus. Riba valgustatus

$$E_2 = E + E_1 \approx 15100 \text{ lx}.$$

10. (*AURULAEV*)

Joonistame välja kuubile mõjuvad jõud. Võrdelistest täisnurksetest kolmnurkadest saame tingimuse

$$\frac{F}{Mg} = \frac{x}{\sqrt{L^2 - x^2}},$$

kus liikme $\sqrt{L^2 - x^2}$ võime lihtsuse mõttes asendada konstantse väärtusega L, kuna eksperimendis registreeritud suurima kõrvalekalde korral oleks sel juhul tehtav suhteline viga vaid

$$1 - \frac{2000}{\sqrt{2000^2 - 35^2}} \approx 0{,}01\%.$$

Niisiis lähtume ülesande lahendamisel seosest

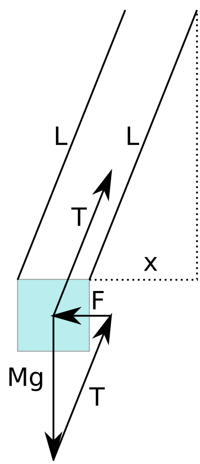
$$\frac{x}{L} \approx \frac{F}{Mg}.$$

Ilmselt aja jooksul mass väheneb ning kõrvalekaldenurk suureneb. Graafikult hindame, et keema hakkamise hetkel on nihe $x_{\text{alg}} \approx 8$ mm, millele vastab kogumass $M_{\text{alg}} = m_{\text{kuup}} + m_{\text{vesi}}$. Lõpphetkel aga $x_{\text{lopp}} \approx 34$ mm ning kuna nüüdseks on kogu vesi aurustunud, tuleb arvesse vaid kuubi enda mass $M_{\text{lopp}} = m_{\text{kuup}}$. Lugedes jõu F protsessi vältel konstantseks, saame võrrandi:

$$\frac{x_{\text{lopp}}}{x_{\text{alg}}} = \frac{M_{\text{alg}}}{M_{\text{lopp}}} = \frac{m_{\text{kuup}} + m_{\text{vesi}}}{m_{\text{kuup}}} = 1 + \frac{m_{\text{vesi}}}{m_{\text{kuup}}}; \qquad \frac{m_{\text{vesi}}}{m_{\text{kuup}}} = \frac{34}{8} - 1 \approx 3.2,$$

mistõttu $m_{kuup} \approx 23$ g ning reaktiivjõuks saame

$$F = \frac{g x_{\text{lopp}} m_{\text{kuup}}}{L} \approx 3.9 \text{ mN}.$$



E1. (*NÕGUSPEEGEL*)

Leiame pliiatsi sellise asendi, kus pliiatsi kujutis ja pliiats ühtivad. Seda on hea teha parallaksi meetodil: hoides pliiatsit paigal ja liigutades pead vasakule-paremale peab pliiatsi kujutis jääma pliiatsi suhtes paigale. Pliiats asub sellisel juhul peegli optilises keskpunktis: mõõtes pliiatsi kauguse peeglist saame kõverusraadiuse R ja fookuskaugus $f = R/2$.

E2. (*TRAAT*)

Ühe lambi ühendame järjestikku tuntud takistiga ning teise lambi — takistustraadiga. Takististustraadi puhul ühendame statsionaarselt vaid ühe kontakti traadi otspunktis; teise kontakti ühendame käsitsi, hoides juhet käega vastu takistustraati mingis punktis, mille asukohta saab piki traati libistades muuta. Mõlemad ahelad ühendame patarei klemmidele. Saavutame olukorra, kus mõlemad lambid põlevad ühe heledusega ning mõõdame selles asendis kontaktide vahele jääva takistustraadi osa pikkuse L. Ühe meetri takistus on siis $1\,\mathrm{m}/L$ korda suurem, st traadi pikkusühiku takistus $r = R/L$.

Vastuseks saame ligikaudu $r = 19{,}1\ \Omega/m$.