

# Eesti koolinoorte 63. füüsikaolümpiaad

27. veebruar 2016. a. Piirkondlik voor.

Gümnaasiumi ülesannete lahendused

## Eessõna

Allpool on toodud iga ülesande üks õige lahenduskäik (mõnel juhul ka enam). Kõik alternatiivsed õiged lahenduskäigud tuleb hinnata samuti maksimumhinnega. 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 lähtevelemis: 0,5 p. (kui märgiviga), kuni 50% (sisuline viga).

**1. (VOLTMEETRID)** (6 p.) Voltmeetrid mõõdavad alati pingelangu enda klemmidel, kusjuures pingelangud on määratud voltmeetrite takistustega. Olgu iga voltmeetri takistus  $R$  [1 p.]. Kogu skeemi takistus on  $R_k = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{2R}\right)^{-1} + R = \frac{5}{3}R$  [2 p.]. Pingelang esimesel voltmeetril on  $U_1 = \frac{R}{R_k}U_0 = 18\text{ V}$  [1 p.]. Pingelang neljandal voltmeetril on  $U_4 = U_0 - U_1 = 12\text{ V}$  [1 p.] ning pingelangud teisel ja kolmandal voltmeetril on  $U_2 = U_3 = \frac{U_4}{2} = 6\text{ V}$  [1 p.].

**2. (KÖIEVEDU)** (6 p.) Olgu nööri tõmme  $T$ . Vastavalt Newtoni III seadusele on nööri tõmme mõlema mehe jaoks sama suur, kuid vastupidises suunas [1 p.]. Lisaks nööri tõmbele mõjub kummalegi mehele vastasuunas hõõrdejõud, mille maksimaalne väärtus on võrdeline raskusjõuga [1 p.]. Seetõttu hakkab esimesena liikuma kergem mees, kelleks on Oleg [1 p.].

Vaatame, millise maksimaalse kiirendusega hakkab Oleg liikuma. Jõudude tasakaal Eero jaoks:

$$T - \mu m_1 g = 0. \quad [1 \text{ p.}]$$

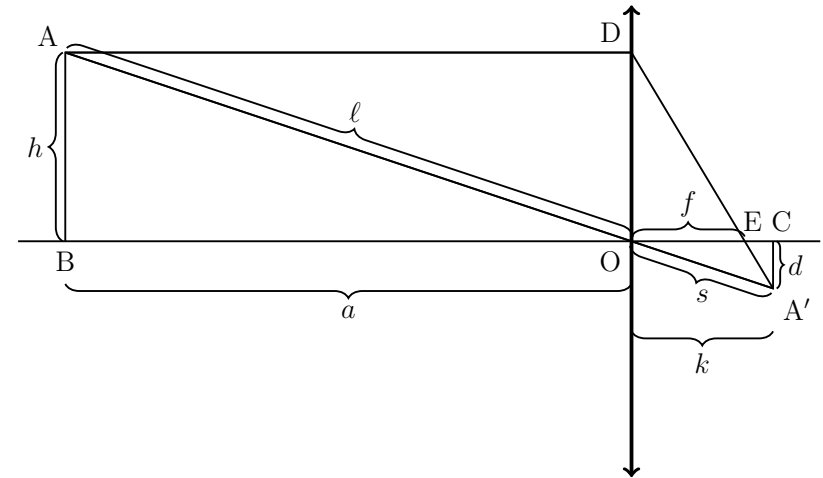
Olegi puhul kehtib aga Newtoni II seadus:

$$T - \mu m_2 g = m_2 a. \quad [1 \text{ p.}]$$

Avaldades esimesest võrrandist  $T = m_1 g$  ja asendades teise võrrandisse, leiame

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \mu g \approx 0,86 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}. \quad [1 \text{ p.}]$$

## 3. (LÄÄTS)

 (8 p.)


Sarnastest kolmnurkadest  $\triangle ABO$  ja  $\triangle A'CO$  saame  $\frac{h}{\ell} = \frac{d}{s}$  [2 p.]. Kuna  $\ell + s = 15\text{ cm}$ , siis:

$$\frac{4\text{ cm}}{\ell} = \frac{1\text{ cm}}{15\text{ cm} - \ell} \rightarrow \ell = 12\text{ cm}, \quad s = 3\text{ cm}. \quad [1 \text{ p.}]$$

Täisnurksest kolmnurgast  $\triangle A'CO$  saame  $k^2 = \sqrt{s^2 - d^2}$  [1 p.]. Sarnastest kolmnurkadest  $\triangle DOE$  ja  $\triangle A'CE$  saame:

$$\frac{h}{f} = \frac{d}{k - f} \quad [2 \text{ p.}] \rightarrow f = \frac{hk}{h + d} \approx 2,26\text{ cm}. \quad [2 \text{ p.}]$$

**Alternatiivne lahendus:**  $\ell$  ja  $s$  leiame sarnaselt eelmisele lahendusele [3 p.]. Seejärel leiame kujutiste kaugused läätse tasandist:  $a = \sqrt{\ell^2 - h^2}$  [1 p.],  $k = \sqrt{s^2 - d^2}$  [1 p.]. Fookuskauguse leiame läätse valemi abil:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f} \quad [2 \text{ p.}] \quad \rightarrow \quad f = \frac{ak}{a+k} \approx 2,26 \text{ cm.} \quad [1 \text{ p.}]$$

**4. (KELK)** (8 p.) Olgu jõe ületamiseks vajalik kõrgus  $h$  ja Juku mass koos kelguga  $m$ . Startides on Jukul potentsiaalne energia  $E_{pot} = mgh$  [1 p.], mis muundub kelgu liikumisel soojuseks hõõrdejõu kaudu [1 p.]. Kaldal tuleb Jukul läbida distants  $s = h/\sin(\alpha)$ . Hõõrdejõu väärtus kaldpinnal on  $F_h = \mu_1 mg \cos(\alpha)$  [1 p.]. Hõõrdejõu poolt tehtud töö on  $A_1 = F_h s = \mu_1 mgh/\tan(\alpha)$  [1 p.]. Jää peal tuleb läbida distants  $l$  ja hõõrdejõu poolt tehtud töö on  $A_2 = \mu_2 mgl$  [1 p.]. Piirjuhul läheb kogu potentsiaalne energia soojusenergiaks:

$$E_{pot} = A_1 + A_2, \quad [1 \text{ p.}]$$

$$h = \frac{\mu_1 h}{\tan(\alpha)} + \mu_2 l,$$

$$h \cdot \left(1 - \frac{\mu_1}{\tan(\alpha)}\right) = \mu_2 l,$$

$$h = \frac{\mu_2 l \tan(\alpha)}{\tan(\alpha) - \mu_1} \approx 3,9 \text{ m.} \quad [2 \text{ p.}]$$

**5. (SAUNAUKS)** (10 p.) Kerisele visatakse  $n = m/\mu$  mooli vett [1 p.], mis aurustudes tekitab hermeetiliselt suletud ruumis lisarõhu, mis on leitav gaasi seadusest:  $\Delta p = nRT/V$  [2 p.]. See rõhk avaldab uksele jõudu  $F = \Delta p A$  [1 p.]. See jõud mõjub ühtlaselt üle kogu ukse pinna, niisiis tuleb uksele mõjuva jõumomendi arvutamisel võtta jõu õlaks pool ukse laiusest [1 p.]. Et aga ust kinni hoides rakendaksid saunalised oma jõu  $F_1$  käepidemele, kus jõu õlaks on terve ukse laius [1 p.], siis saame öelda, et saunalised peaksid ukse kinnihoidmiseks rakendama jõudu

$$F_1 = \frac{F}{2} = \frac{nRTA}{2\mu V} = 2500 \text{ N.} \quad [2 \text{ p.}]$$

Leitud jõud on tõepoolest ebaloomulikult suur. Lisaküsimuse vastuseks võime öelda, et kerisel aurustunud sadakond liitrit veeauru surub üleliigse õhu igasugustest piludest kiiresti välja [2 p.] ja seetõttu märkimisväärset ülerõhku uksele ei avaldugi.

**6. (LASKETIIR)** (10 p.) Alljärgnevas lahenduskäigus ei arvesta me õhutakistust. Esmalt tuleb leida, missuguse nurga  $\alpha$  all on relva vint-raud suunatud ülespoole, et tabada märklaua keskmesse ehk "kümnesse" vintpüssi normaalse asendi korral. Kuuli trajektoor on sümmeetriline, seega kuuli kogu lennu-aeg  $t$  on kaks korda suurem kui aeg  $t_{tipp}$ , mis kulub trajektoori kõrgeimasse punkti jõudmiseks (vt joonis). Järgnevalt kirjeldame kuuli liikumist liikumisvõrranditega horisontaalse liikumise jaoks

$$s = v_x t$$

ja vertikaalse liikumise jaoks

$$v_y - gt_{tipp} = v_y - g\frac{t}{2} = 0,$$

kus  $g$  on raskuskiirendus  $9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $s$  märklaua kaugus  $30 \text{ m}$  ning  $v_x$  ja  $v_y$  vastavalt horisontaal- ja verikaalsuunaline algkiirus. (Kuuli trajektoori mõistmine liikumisvõrrandite kirjapanek [2 p.]. Joonise tegemine ei ole otseselt nõutud, kuid see lihtsustab ülesandest arusaamist. Seega joonise puudumist palun mitte karistada, kui see ei takista lahenduskäigust arusaamist.)

Neid kahte võrrandit kombineerides saame leida nurga  $\alpha$ .

$$s = v_x t \Rightarrow t = \frac{s}{v_x}$$

$$v_y - g\frac{t}{2} = 0$$

$$v_y - g\frac{s}{2v_x} = 0$$

$$2v_x v_y = gs$$

Avaldame viimases reas  $v_x$  ja  $v_y$  algkiiruse  $v_o$  ja trigonomeetriliste funktsioonide kaudu ning kasutame kahekordse nurga siinuse valemit

$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$ . Saame, et

$$\begin{aligned} 2v_x v_y &= gs \\ 2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha &= gs \\ v_0^2 \sin 2\alpha &= gs \\ \sin 2\alpha &= \frac{gs}{v_0^2} \end{aligned}$$

(Lasekenurga, algkiiruse ja laskekauguse vahelise seoseni jõudmine [2 p.])

Kui nüüd keerata relva ümber sihtimistelje 180 kraadi, siis kui enne oli relvatoru nurga  $\alpha$  all suunatud üles, siis nüüd on relvatoru sama nurga jagu suunatud alla (vt joonis), seega jäävad kuuli horisontaal ja vertikaalsuunalised kiirused oma arvvaärtuselt samaks. Kuuli märklaua tabamise koha leiame kuuli vertikaalsuunalisest liikumisvõrrandist ning arvestades nüüd, et kuuli lastakse allapoole.

$$h = v_y t + \frac{gt^2}{2}$$

Asendame liikumisvõrrandisse kuuli lennuaja  $t$  ja vertikaalsuunalise kiiruse  $v_y$  hotisontaalsuunalise kiiruse  $v_x$  kaudu vastvalt  $t = s/v_x$  ja  $v_y = gs/2v_x$ . (Arusaamine, kuidas vintrauda keeratakse ja et kiiruste arvvaärtused jäävad samaks [2 p.]) Saame

$$\begin{aligned} h &= v_y \frac{s}{v_x} + \frac{gs^2}{2v_x^2} \\ h &= \frac{gs}{2v_x} \frac{s}{v_x} + \frac{g}{2} \left( \frac{s}{v_x} \right)^2 \\ h &= \frac{gs^2}{v_x^2} \\ h &= \frac{gs^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} \end{aligned}$$

(vertikaalsuunalise liikumise liikumisvõrrandi kirjapanemine [1 p.] ja tulemuseni jõudmine [2 p.])

Kuna nurk  $\alpha$  on meil teada saame arvutada koha kus kuul märklaua tabab.

Võib aga kasutada trigonomeetria seoseid (*hindamisel alljärgnevate teisenduste mitte tegemist palun mitte karistada, sest need on lisatud eelkõige ülesande autori stiililistel kaalutlustel*). Saame

$$\begin{aligned} h &= \frac{gs^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} \\ &= \frac{gs^2}{v_0^2} \frac{2}{1 + \cos 2\alpha} \\ &= \frac{gs^2}{v_0^2} \frac{2}{1 + \sqrt{1 - \sin^2 2\alpha}} \\ &= \frac{gs^2}{v_0^2} \frac{2}{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{gs}{v_0^2}\right)^2}} \\ &= \frac{2gs^2}{v_0^2 + \sqrt{v_0^4 - (gs)^2}} \end{aligned}$$

Rehkendus annab tulemuseks

$$h = \frac{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 30 \text{ m}}{(320 \text{ m/s})^2 + \sqrt{(320 \text{ m/s})^4 - (9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 30 \text{ m})^2}} \approx 8,6 \text{ cm}$$

(arvuline lõpptulemus [1 p.])

**7. (VALGUSTID)** (10 p.) Kirjeldatud eeldustel luminescentsstoru (ja nendest moodustatud rivi) võib vaadelda lõpmata pika joonvalgusallikana, mille valgusvoog jaotub ühtlaselt silindripinnale, mille pindala on võrdeline silindri raadiusega. Kuna kogu energia jaguneb silindri pinna peale, siis valgustatus on pöördvõrdeline kaugusega,  $L \propto 1/r$ . Et kaugusel  $r = 0,15 \text{ m}$  oleks valgustatus  $L = 8400 \text{ lx}$ , peab valgustatuse valem olema  $L = 8400 \text{ lx} \times \frac{0,15 \text{ m}}{r}$ . Järelikult luminescentslampide abil saadakse valgustatuseks töölaua

$$8400 \text{ lx} \times \frac{0,15 \text{ m}}{1,8 \text{ m}} \approx 700 \text{ lx.}$$

Seevastu LED-lamp on pigem punktvalgusallikas, mille valgusvoog jaotub sfääri pinnale, mille pindala on ruutsõltuvuses sfääri raadiusest. Seega  $L \propto 1/r^2$  ja et kaugusel  $r = 0,3 \text{ m}$  oleks valgustatus  $L = 1500 \text{ lx}$ , peab kehtima  $L = 1500 \text{ lx} \times \left(\frac{0,3 \text{ m}}{r}\right)^2$ . Töölaua kaugusel  $r = 0,4 \text{ m}$  lambist on valgustatus

$$2600 \text{ lx} \times \left(\frac{0,3 \text{ m}}{0,4 \text{ m}}\right)^2 \approx 1500 \text{ lx}.$$

### Hindamisjuhend:

Luminestsentstoru kui joonvalgusallikaga tekitatud valgustatus kahaneb pöördvõrdeliselt kaugusega: [3 p.].

Vastav avaldis valgustatuse leidmiseks: [1,5 p.].

Arvuliselt õige vastus koos mõõtühikuga: [0,5 p.].

LED-lambi kui punktvalgusallikaga tekitatud valgustatus kahaneb pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga: [3 p.].

Vastav avaldis valgustatuse leidmiseks: [1,5 p.].

Arvuliselt õige vastus koos mõõtühikuga: [0,5 p.].

Kummagi osa puhul, kui on antud lihtsalt valgustatuse avaldis ilma põhjendusega, siis [-1 p.] (st kokku [4 p.]).

**8.** (VEEREV PALL) (10 p.) Olgu x-suunaline kiirus pallil  $v_{x1}$  ning klotsil vastassuunas  $v_{x2}$ . Kuna hõõrdejõud pinnaga puudub, siis süsteemile horisontaalseid jõude ei mõju ja kehtib horisontaalse impulsi jäävuse seadus  $mv_{x1} = Mv_{x2}$  [2 p.], kust  $\frac{v_{x1}}{v_{x2}} = \frac{M}{m}$ . Kuna see peab kehtima igal ajahetkel, siis järelikult kehtib ka  $\frac{s_{x1}}{s_{x2}} = \frac{M}{m}$  [2 p.], kus  $s_{x1}$  ja  $s_{x2}$  on vastavalt palli ja aluse horisontaalsuunas läbitud vahemaad. Kui pall on jõudnud teise otsa, siis palli nihe klotsi suhtes on  $2(R-r)$  (vahemaa palli keskmest punktis A palli keskmeni punktis B), seega  $s_{x1} + s_{x2} = 2(R-r)$  [3 p.]. Avaldades  $s_{x1} = s_{x2} \frac{M}{m}$  ja asendades eelmisesse võrrandisse, saame

$$s_{x2} = 2(R-r) \frac{m}{M+m}. \quad [3 \text{ p.}]$$

**9.** (U-TORU) (12 p.) Pärast õli kallamist torusse langeb vee tase  $\Delta h$  võrra selles torus, kuhu kallati õli, ning teises torus veetase tõuseb  $\Delta h$

võrra [1 p.]. Õli ja vee piirpinna kõrgusel on rõhk mõlemas U-toru harus sama [1 p.]. Õliga täidetud harus avaldab õli vee ja õli piirpinnale rõhku

$$p_1 = \rho_{\text{õ}} g l + p_0. \quad [2 \text{ p.}]$$

Teises (suletud) U-toru harus tekitab kokkusurutud õhk rõhu  $p_{\text{õhk}}$ . Õhu kokkusurumist võime vaadelda isotermlise protsessina, kus  $pV = \text{const}$  [1 p.]. Seega

$$p_0 \cdot Sh = p_{\text{õhk}} \cdot S(h - \Delta h) \Rightarrow p_{\text{õhk}} = \frac{p_0 h}{h - \Delta h}. \quad [2 \text{ p.}]$$

Vee ja õli nivoo kõrgusel avaldavad teises harus vesi ja õhk rõhku

$$p_2 = \rho_v g (2\Delta h) + p_{\text{õhk}}. \quad [2 \text{ p.}]$$

Rõhud  $p_1$  ja  $p_2$  on võrdsed ning  $\Delta h = l - h$ , seega saame kirja panna seose

$$\rho_{\text{õ}} g l + p_0 = \rho_v g 2(l - h) + \frac{p_0 h}{h - (l - h)}. \quad [1 \text{ p.}]$$

Avaldades viimasest seosest õli tiheduse  $\rho_{\text{õ}}$ , saame

$$\rho_{\text{õ}} = \frac{l - h}{l} \left( 2\rho_v + \frac{p_0}{g(2h - l)} \right). \quad [2 \text{ p.}]$$

**10.** (VEESOOJENDI) (12 p.) Alguses on lisanduva vee temperatuur võrdne soojendis oleva vee temperatuuriga ja vett välja ei voola. Seega muutub vee temperatuur ainult soojendilt saadava soojuse tõttu [2 p.]:  $\Delta Q = cm_0 \Delta T = P \Delta t$  [2 p.]. Kui ajahetk  $\Delta t$  on piisavalt väike, siis saame tõusu  $\Delta T / \Delta t \approx 0,45 \frac{^\circ\text{C}}{\text{s}}$ , mis tuleb graafikult mõõta ajahetkel  $t = 0$  [1 p.]. Tõusu saab leida tõmmates graafikul puutuja ajahetkel  $t = 0$ , mis läbib ligikaudu punkti  $T = 24,5 \text{ }^\circ\text{C}$  ja  $t = 10 \text{ s}$ . Kui mõõdetud tõus ei erine õigest rohkem kui paarikümne protsendi võrra, anda [1 p.]. Massiks saame:

$$m_0 = \frac{P}{c \frac{\Delta T}{\Delta t}} \approx \frac{2000 \text{ W}}{4200 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \times 0,45 \frac{^\circ\text{C}}{\text{s}}} \approx 1,1 \text{ kg}. \quad [1 \text{ p.}]$$

Stabiilne temperatuur saavutatakse siis, kui ajaühikus väljavoolava vee soojendamiseks kulunud energia on võrdne soojendi võimsusega [2 p.]. Sellest saame seose  $P = \mu c(T - T_0)$  [1 p.], kust võttes stabiilseks temperatuuriks  $T = 36^\circ\text{C}$  [1 p.], saame voolukiiruseks:

$$\mu = \frac{P}{c(T - T_0)} \approx \frac{2000 \text{ W}}{4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times 16^\circ\text{C}} \approx 0,03 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 30 \frac{\text{g}}{\text{s}}. \quad [1 \text{ p.}]$$

**E1.** (KUMMINIIT)(10 p.) Seome kumminiidi koormise külge ning sõrmedega kumminiiti erinevatest kohtadest hoides mõõdame erinevatele kumminiidi algpikkustele  $l_0$  vastavad väljavenitatud kumminiidi pikkused  $l$ . Vastavalt Hooke'i seadusele  $mg = k(l - l_0)$  ning arvestades, et  $k = \alpha/l$ , saame avaldada  $\alpha = mgl/(l - l_0)$ . Viime katse läbi vähemalt viie erineva algpikkuse jaoks, mis katavad ühtlaselt kogu kasutada oleva niidi pikkuse vahemiku ning kanname tabelisse mõõtmistulemused koos nende põhjal arvutatud  $l/(l - l_0)$  väärtustega:

$l_0$ [mm]	$l$ [mm]	$l/(l - l_0)$
30	56	2,15
40	72	2,25
50	89	2,28
60	105	2,33
70	122	2,35
80	141	2,31
90	158	2,32
100	176	2,32

Leiame katsepunktide keskvaertuse  $\langle l/(l - l_0) \rangle = 2,3$ . Arvestades koormise massiga  $m = 100 \text{ g}$ , saame avaldada kordaja  $\alpha$  väärtuse  $\alpha = 2,3 \text{ N}$ .

### Hindamisjuhend:

Idee hoida sõrmedega niiti kinni fikseeritud kohast ja mõõta algpikkust venimata olekus ning vastavat lõpp-pikkust koormise riputamisel: [2 p.]. Arvutuskäik  $\alpha$  avaldamiseks  $l_0$  ja  $l$  kaudu: [2 p.].

Katsetulemused tabelina (või vähemasti selgelt esitatuna) ning igale

katsepunktile vastava  $l/(l - l_0)$  või  $\alpha$  väljaarvutamine: [2 p.].

Erinevate algpikkustega katsepunkte vähemalt 5: [2 p.]; katsepunkte 3 või 4: [1 p.]; katsepunkte 1 või 2: [0 p.].

Õige dimensiooniga vastus täpsusega kuni 10%: [2 p.]; täpsusega 10-20%: [1 p.].

**E2.** (NIIT)(12 p.) Seome niidi ühte otsa  $n$  klambrit (klambritest on mugav teha ahel) ja teise otsa  $m$  ning viskame niidi üle silindri (nii et niidi siht pöörduv nurga  $\pi$  võrra). Alustuseks  $n = 1$  ja leiame sellise vähima  $m$ -i väärtuse  $m_1$ , mille puhul niit hakkab libisema raskema otsa poole. Teame nüüd, et hõõrdetegur rahuldab võrratusi

$$m_1 - 1 < e^{\mu\pi} < m_1,$$

millest  $\frac{1}{\pi} \ln(m_1 - 1) < \mu < \frac{1}{\pi} \ln(m_1)$ . Võtame nüüd  $n = 2$  ning analoogselt leiame  $m_2$  väärtuse; kui eelmine osa oli õigesti tehtud, siis on meil kaks võimalust:  $m_2 = 2m_1$  või  $m_2 = 2m_1 - 1$ . Nüüd saame võrratuseks

$$\frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{m_2 - 1}{2}\right) < \mu < \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{m_2}{2}\right).$$

Sõltuvalt hõõrdeteguri väärtusest võib olla võimalik katse läbi viia ka  $n = 3$  ja  $n = 4$  juures; üldjuhul  $\frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{m_n - 1}{n}\right) < \mu < \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{m_n}{n}\right)$ . Selle põhjal saame vastuseks anda

$$\mu \approx \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{m_n(m_n - 1)}{n^2}\right).$$

Samuti, kui hõõrdetegur on piisavalt väike, saab teha niidiga poole keeru asemel poolteist keeru (pöördenurk  $3\pi$ ). Olgu sellisel juhul niidi libisemise ajal ühes otsas 1 klamber ja teises  $M$  klambrit; siis  $\frac{1}{3\pi} \ln(M - 1) < \mu < \frac{1}{3\pi} \ln M$  ning

$$\mu \approx \frac{1}{6\pi} \ln[(M - 1)M].$$

Libeda silindri ja niidi puhul võivad tulla näiteks järgmised tulemused:  $m_1 = 3$ ,  $m_2 = 5$ ,  $m_3 = 7$  ja  $m_4 = 9$ . Kõige täpsema tulemuse annab  $n = 4$ ,  $\mu \approx \ln(4,5)/(2\pi) \approx 0,24$ . Kui viia katse läbi poolteise keeru

juures, siis saame  $M = 11$ , mis annab  $\mu \approx \ln(110)/(6\pi) \approx 0,25$ , mis on natuke täpsem tulemus (sest antud juhul  $M > m_4$ ).

### **Hindamisjuhend:**

Katse idee: [3 p.].

*Mõõtmiste eest alljärgnevalt:*

leitud katseliselt ainult  $m_1$ : [2 p.];

leitud katseliselt  $m_2$ , kuid mitte  $m_n$ , kus  $n > 2$  ( $m_1$  leidmine siinjuures punkte ei lisa, sest täpsust ei suurenda): [4 p.];

leitud katseliselt  $m_3$ , kuid mitte  $m_n$ , kus  $n > 3$ : [5 p.];

leitud katseliselt  $m_4$ : [6 p.] (kui hõõrdetegur on nii suur, et  $n = 4$  puhul ei jagu klambreid, siis tuleb anda  $n = 3$  eest [5 p.] asemel [6 p.]);

katse läbi viidud ka poolteise keeru juures: täiendavalt [1 p.].

Kui hõõrdetegur on nii suur, et klambreid ei jätku katse läbiviimiseks poolteise keeru juures, siis kantakse see punkt eelmistele mõõtmistele, st  $n = 1$ : [3 p.];  $n = 2$ : [5 p.];  $n = 3$ : [7 p.].

Kui katse on läbi viidud ainult poolteise keeru puhul, kuid ei ole mõõdetud poole keeru juures, siis antakse mõõtmiste eest kokku [6 p.].

Tulemuste täpsuse eest — vastus arvatatud mõõtmistulemuste põhjal vigadeta ja tulemuse erinevus tegelikust väärtusest

ei ole suurem kui 10%: [2 p.];

on 15% ja 10% vahel: [1,5 p.];

on 20% ja 15% vahel: [1 p.];

on 30% ja 20% vahel: [0,5 p.].

*Märkus:* põhimõtteliselt on vale katset läbi viia nii, et riputada niidi otstesse võrdsed arvud klambreid, asetada see silindrile ning kallutada silindri telge leides nurga, mille juures niit hakkab libisema. Esiteks, sellisel juhul ei kehti seos  $\mu = \tan \alpha$ , teiseks, nurga mõõtmiseks pole katsevahendeid. Selline lahendus annab [0 p.].