Eesti koolinoorte 71. füüsikaolümpiaad

9. veebruar 2024. a. Piirkondlik voor.
Põhikooli ülesannete lahendused (8.–9. klass).

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 mahaarvamise punktid:

- numbriline arvutusviga — [**0,5 p**];
- 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 p**];
- üksik viga lähtevalemis — [**0,5 p**] (kui märgiviga) kuni **50%** (sisuline viga).

1. (*TUULIK*) (*6 p.*) *Autor: Richard Luhtaru*

Kuna järgmise laba jõudmiseks punkti A kulub $t = 1{,}5\,\mathrm{s}$ ja tuulikul on kolm laba, siis tuuliku pöörlemisperiood on $T = 3t = 4{,}5\,\mathrm{s}$. [**2 p**] Et laba ots liigub mööda ringjoont raadiusega L, siis selle aja jooksul liigub laba otspunkt teepikkuse $s = 2\pi L \approx 220\,\mathrm{m}$. [**2 p**] Seega laba otspunkti kiirus on $v = \frac{s}{T} = \frac{220\,\mathrm{m}}{4{,}5\,\mathrm{s}} \approx 48{,}9\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. [**2 p**]

2. (*TUNDMATU AINE*) (*6 p.*) *Autor: Hans Daniel Kaimre*

a) Esmalt määrame graafikult sulamistemperatuuri. Sulamisele vastab graafikul vahemik, kus keskkonna temperatuur aja jooksul ei muutu. Graafikult loeme, et $T_s = -6\,^\circ\mathrm{C}$. [**1 p**]

b) Sealt samast graafiku piirkonnast saame leida aine sulamissoojuse. Aine sulatamiseks kulub ühelt poolt energiat $Q = m\lambda$, see on võrdne küttekeha poolt süsteemi antava energiaga $Q = Nt$. Aine sulatamiseks kulub aega $60\,\mathrm{min} - 20\,\mathrm{min} = 40\,\mathrm{min} = 2400\,\mathrm{s}$ [**0.5 p**], järelikult:

$$m\lambda = Nt \Rightarrow \lambda = \frac{Nt}{m} = \frac{100\,\mathrm{W}\cdot 2400\,\mathrm{s}}{1\,\mathrm{kg}} = 240\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}. \quad [\mathbf{1.5\ p}]$$

c) Aine erisoojuse määramiseks uurime piirkonda, kus ajahetkest $t_1 = 0\,\text{min}$ ajahetkeni $t_2 = 20\,\text{min}$ temperatuur tõuseb temperatuurilt $T_1 = -45\,^\circ\text{C}$ temperatuurini $T_2 = -6\,^\circ\text{C}$. Seega:

$$\frac{\Delta t}{\Delta T} = \frac{t_2 - t_1}{T_2 - T_1} = \frac{20\,\text{min}}{-6\,^\circ\text{C} + 45\,^\circ\text{C}} = \frac{1200\,\text{s}}{39\,^\circ\text{C}} = 30{,}8\,\text{s}/^\circ\text{C}. \quad [\mathbf{1\ p}]$$

Aine soojendamiseks kulub ühelt poolt energia $Q = mc\Delta T$, see on võrdne küttekeha poolt süsteemi antava energiaga $Q = N\Delta t$, sealt

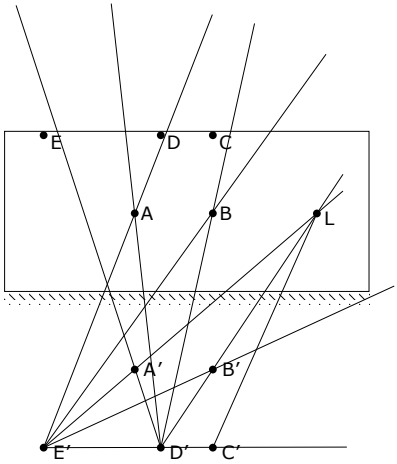
$$mc\Delta T = N\Delta t \Rightarrow c = \frac{N}{m} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta T} = \frac{100\,\text{W}}{1\,\text{kg}} \cdot 30{,}8\,\text{s}/^\circ\text{C} = 3080\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}. \quad [\mathbf{2\ p}]$$

3. (*PÖÖRE*) (*6 p.*) *Autor: Jaan Kalda*

Ajavahemiku t vältel läbib vasakpoolne auto $t\Delta v$ võrra pikema vahemaa, kui parempoolne [**2 p**]. Samal ajal pidi ta läbima pikema vahemaa: kui parempoolse auto läbitud veerandringi raadius oli R ja vahemaa seega $\pi R/2$ [**0.5 p**], siis vasakpoolsel oli see $\pi(R + a)/2$ [**0.5 p**], mis tähendab, et teepikkuste erinevus oli $\pi a/2$ [**1 p**]. Niisiis on vasakpoolne auto parempoolsest eespool vahemaa $t\Delta v - \pi a/2 \approx 84\,\text{cm}$ (valem [**1 p**] ja arvväärtus [**0.5 p**]; kui on arvutatud kohe arvudeta, st ilma valemit tuletamata, siis vigadeta tulemuse korral ikkagi täisskoor, st [**1.5 p**]). Et tulemus on plussmärgiga, siis on vasakpoolne auto kaugemale jõudnud [**0.5 p**].

4. (*LADU*) (*8 p.*) *Autor: Hans Daniel Kaimre*

Kuivõrd Lauri näeb peeglist ainult balloone A, B ja C, peavad olema balloonide D ja E kujutised tasapeeglis olema varjatud balloonide A, B ja C kujutiste või balloonide A ja B endi poolt. Balloonid C, D ja E ise ei saa kujutisi varjata, sest asuvad seina ääres ning Lauri peab viibima ruumis sees. Märgime joonisele kõikide gaasiballoonide kujutised A', B', C', D' ja E'. Lauri asukoha leidmiseks kanname joonisele kõik vastavalt punkte D' ja E' ning punkte A, B, A', B', C' ühendavad sirged. Lauri asukoht peab olema punktis, kus kahe sellise sirge pikendused lõikuvad. Näeme, et tingimusi (sirged lõikuvad ja lõikepunkt asub ruumi piirides) täidab ainult üks punkt L, mille kanname joonisele. Lauri seisab punktis L. Viimaseks joonistame punkte L ja C' ühendava sirge, et veenduda, et Lauri näeb peeglist ka ballooni C kujutist.



Hindamisskeem:

- Selgitus, miks Lauri kõiki balloone ei näe (teised balloonid või nende kujutised varjavad). — [**2 p**]
- Joonisele kantud balloonide kujutised. — iga kujutis [**0.5 p**], kokku [**2.5 p**]
- Sirge E'A' joonestamine. [**1 p**]
- Sirge D'B' joonestamine. [**1 p**]
- Lauri asukoha L märkimine joonisele. [**1 p**]
- Kontrollitud, et Lauri näeb ballooni C kujutist sellise asukoha korral. [**0.5 p**]
- *Märkus*: Teiste võimalike asukohtade ja lahendusvariantide kaalumine ja selgitamine ei ole kohustuslik, kuna ülesandes pole seda küsitud.

5. (*PÄIKESEPANEEL*) (*8 p.*) *Autor: Richard Luhtaru*

Iga paneeli poolt toodetav keskmine energia võimsus on

$$P = \eta S I = 24{,}75\,\mathrm{W}. \quad [\mathbf{3\ p}]$$

Pille keskmine energiatarbimise võimsus on

$$P_k = \frac{3000\,\mathrm{kWh}}{1\,\mathrm{aasta}} \cdot \frac{1000\,\mathrm{W}}{1\,\mathrm{kW}} \cdot \frac{1\,\mathrm{aasta}}{365 \cdot 24\,\mathrm{h}} \approx 342{,}5\,\mathrm{W}. \quad [\mathbf{2\ p}]$$

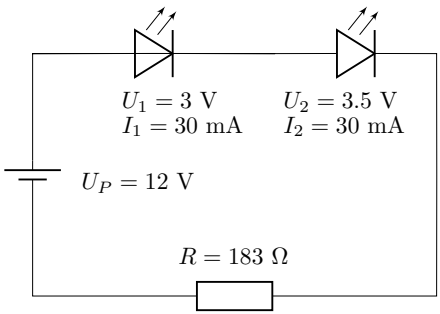
Leiame, et

$$\frac{P_k}{P} = \frac{342{,}5\,\mathrm{W}}{24{,}75\,\mathrm{W}} \approx 13{,}8, \quad [\mathbf{2\ p}]$$

seega Pillel on vaja vähemalt 14 päikesepaneeli. [**1 p**]

6. (*VALGUSDIOODID*) (*10 p.*) *Autor: Hans Daniel Kaimre*

Kuivõrd LEDide nominaalne voolutugevus on võrdne, on mõistlik need ühendada omavahel jadamisi, nii nagu Mari seda tegi. Pingelang üle LEDide normaaltingimustel on $U_1 + U_2 = 3\,\mathrm{V} + 3{,}5\,\mathrm{V} = 6{,}5\,\mathrm{V}$, mis on tunduvalt vähem kui patarei klemmipinge $U = 12\,\mathrm{V}$. Järelikult tuleb vooluringi ühendada LEDidega jadamisi takisti, millel pingelang oleks $U_R = U - U_1 - U_2 = 12\,\mathrm{V} - 6{,}5\,\mathrm{V} = 5{,}5\,\mathrm{V}$. Takisti väärtuse saame leida lihtsalt Ohmi seadusest, kuna takistit läbiv voolutugevus peab olema võrdne LEDe läbiva voolutugevusega: $R = U_R/I_1 = 5{,}5\,\mathrm{V}/30\,\mathrm{mA} = 183\,\Omega$.



Hindamisskeem:

- Leitud pingelang üle dioodide. — [**1 p**]
- Arusaam, et takisti tuleks ühendada dioodidega jadamisi — [**2 p**]
- Leitud pingelang takistil — [**2 p**]
- (Kui pingelangu dioodidel pole eksplitsiitselt leitud, kuid on leitud siiski korrektselt pingelang takistil, siis selle eest punkte mitte maha võtta. Küll peab olema sel juhul siiski motiveeritud, miks takisti on ühendatud jadamisi.)
- Arusaam, et takistit läbiv voolutugevus peab olema $I = 30\,\mathrm{mA}$ [**2 p**]
- Ohmi seadusest korrektne takisti väärtus — [**2 p**]
- Joonistatud uus korrektne skeem — [**1 p**]

7. (*GALILEO TERMOMEETER*) (*10 p.*) *Autor: Jaan Kalda*

Olgu kuulikese koguruumala V; sellisel juhul vee tihedus 20 kraadi juures ρ_1 rahuldab tasakaalutingimust $\rho_1 V = m_1$ [**1 p**]. Sarnase seose saame 22-kraadise kuulikese kogumassi jaoks, $m_2 = \rho_2 V$, kus ρ_2 tähistab vee tihedust 22 kraadi juures [**1 p**]. Ühikmassi vee ruumala 20 kraadi juures on $V_1 = 1/\rho_1$ [**1 p**] ja 22 kraadi juures — $V_2 = 1/\rho_2$ [**1 p**]. Teisest küljest $V_2 = V_1(1 + k\Delta T)$, kus

$\Delta T = 2\,^\circ\mathrm{C}$ [**2 p**]. Seetõttu $\rho_2 = 1/V_2 = 1/[V_1(1 + k\Delta T)] = \rho_1/(1 + k\Delta T)$ [**1 p**]. Et esimese kahe valemi põhjal $m_2 = \rho_2 V = m_1\rho_2/\rho_1$ [**1 p**], siis $m_2 = m_1/(1 + k\Delta T)$ [**1 p**]. Numbriliselt saame $m_2 = 19{,}9916\,\mathrm{g}$ [**1 p**].

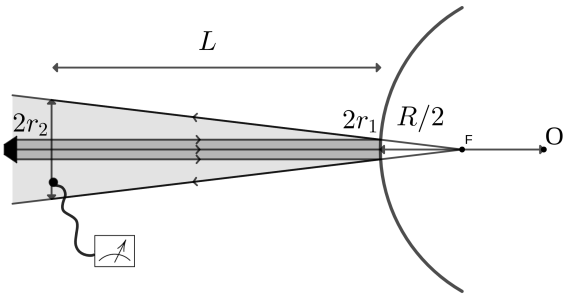
8. (*HAJUMINE*) (*10 p.*) *Autor: Moorits Mihkel Muru*

Tajur mõõdab valgustihedust ehk valgustatust, seega mida suurema ala peale valgusallikast pärinev valgus hajub, seda väiksem on tajuri näit. Olgu valgusallika võimsus P ja valgusallikast tuleva valgusvihu pindala S_1, siis esimeses katses mõõdetud tajuri näitu kirjeldab suurus $E_1 = P/S_1 = P/\pi r_1^2$, kui eeldada, et valgusvihu pindala on ringikujuline ja raadiusega r_1. Teises katses kirjeldab tajuri väärtust suurus $E_2 = P/S_2 = P/\pi r_2^2$, kus r_2 sõltub sellest, kui kaugel tajur peeglist on. Raadiuse r_2 saab avaldada läbi raadiuse r_1 kasutades teadmist, et kumerpeeglile lastud paralleelne kiirtekimp koondub fookuses, mis asub kumerpeegli pinnast kaugusel $R/2$. Tekivad sarnased kolmnurgad, millest esimese kõrgus on $R/2$ ja alus $2r_1$ ning teise kõrgus on $R/2 + L$ ning alus $2r_2$. Seega saame

$$\frac{R/2}{2r_1} = \frac{R/2 + L}{2r_2} \Rightarrow r_2 = \frac{R/2 + L}{R/2} r_1$$

ja tajuri näitude suhe on

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{P/S_1}{P/S_2} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \left(\frac{R/2 + L}{R/2}\right)^2 = \left(\frac{15\,\mathrm{cm} + 60\,\mathrm{cm}}{15\,\mathrm{cm}}\right)^2 = 25\ .$$



Hindamisskeem:

- Teab, et tajuri näitu kirjeldab valgusallika võimsuse ja valgustatud pindala suhe. — [**3 p**]
- Kui arvutused on tehtud arvestamata, et pindala on võrdeline raadiuse ruuduga — [**-1 p**]

- Teab, et kumerpeegli fookus on peegli pinnast kaugusel $R/2$ — [**2 p**]
- Kasutab sarnaseid kolmnurki pindalade/raadiuste suhte leidmiseks — [**4 p**]
- Korrektne lõppvastus — [**1 p**]

9. (*LAMBIPIRNID*) (*12 p.*) *Autor: Oleg Košik*

1) Lambid A ja B on rööbiti.

Rakendame võimsuse valemit $P = \frac{U^2}{R}$. Kui lambid A ja B on rööbiti, on neil sama pinge. Tingimusest, et $P_A = 4P_B$ saame $\frac{U^2}{R_A} = \frac{4U^2}{R_B}$, millest $R_B = 4R_A$.

2) Lambid B ja C on rööbiti.

Nüüd rakendame võimsuse valemit $P = I^2R$. Et nüüd $P_A = P_B$, siis $I_A^2R_A = I_B^2 4R_A$, millest $I_A = 2I_B$. Et $I_A = I_B + I_C$, siis $I_C = I_B$. Kuna ka $U_C = U_B$, saame $R_C = R_B = 4R_A$.

3) Lambid A ja C on rööbiti.

Nüüd $U_A = U_C$, siis seosest $R_C = 4R_A$ ning valemist $I = \frac{U}{R}$ saame, et $I_A = 4I_C$. Seosest $I_B = I_A + I_C$ järeldame, et $I_B = 1{,}25\,\mathrm{I}_A$. Nüüd saame

$$P_B = I_B^2 R_B = (1{,}25\,\mathrm{I}_A)^2 \cdot 4R_A = 6{,}25\,\mathrm{I}_A^2 R_A = 6{,}25\,\mathrm{P}_A.$$

Niisiis põleb lamp B võimsamalt 6,25 korda.

Märkus. Reaalelus ei pea eeldus, et lambi takistus ei sõltu voolutugevusest, siiski paika. Hõõglambi takistus sõltub võimsusest — külma ja kuuma lambi takistuste erinevus on umbes 10-kordne.

Hindamisskeem:

- Seose $R_B = 4R_A$ tuletamine — kokku [**3 p**], sealhulgas
  Valemi $P = \frac{U^2}{R}$ kasutamine: [**1 p**]
  $U_A = U_B$: [**1 p**]
- Seose $R_C = 4R_A$ tuletamine — kokku [**4 p**], sealhulgas
  Valemi $P = I^2R$ kasutamine: [**1 p**]
  $I_A = I_B + I_C$: [**1 p**]
- Seose $P_B = 6{,}25\,\mathrm{P}_A$ leidmine — kokku [**5 p**], sealhulgas
  Valemi $I = \frac{U}{R}$ kasutamine: [**1 p**]
  Seose $I_B = 1{,}25\,\mathrm{I}_A$ või $U_B = 5U_A$ leidmine: [**2 p**]

10. (*PALGID VEES*) (*12 p.*) *Autor: Jaan Kalda*

Süsteemile vesi+palgid mõjub raskusjõud, mille tasakaalustab jõud $pS - 2T$, kus T on jõud, millega niit tõmbab kumbagi palki. Idee vaadelda süsteemi vesi+palgid koos annab [**2 p**]; tasakaalutingimusest saadud raskusjõu avaldis $pS - 2T$ annab [**2 p**]. Väiksema palgi tasakaalutingimusest saame, et $T = (\rho_v - \rho)Vg$ [**2 p**]. Kui niit katki lõigata, siis niidi pinge kaob, kuid süsteemile vesi+palgid mõjub raskusjõud jõud peab samaks jääma [**2 p**]. Seega rõhumisjõu muutus $S\Delta p = 2T$ [**1 p**]. Et $\Delta p = \rho_v g \Delta h$ [**1 p**], siis veetase langeb kõrguse $\delta h = 2T/\rho_v g S = 2(\rho_v - \rho)V/\rho_v S = 2{,}4\,\mathrm{cm}$ (valem [**1 p**], arvväärtus [**1 p**]).

Alternatiivne lahendus Väiksema palgi tasakaalutingimusest saame, et $T = (\rho_v - \rho)Vg$ [**2 p**]. Olgu suurema palgi koguruumala U, millest vee all on ruumala W. Sellisel juhul saame selle tasakaalutingimuseks $\rho_v W g = \rho U g + T$ [**2 p**]. Kahest avaldisest saame kokku $W = kU + V - kV$ [**1 p**], kus $k = \rho/\rho_v$. Kui nöör on katki, siis on palkide veealuste osade ruumalad tasakaalutingimusest tulenevalt vastavalt Vk ja Uk ([**1 p**]+[**1 p**]). Enne oli palkide veealuste osade ruumalade summa $W + V$ [**1 p**] ja pärast — $Vk + Uk$ [**1 p**], seega veealuste osade ruumala vähenes $W + V - Vk - Uk = 2V(1-k)$ võrra [**1 p**], mistõttu alanes veetase $2V(1-k)/S = 2{,}4\,\mathrm{cm}$ võrra (valem [**1 p**], arvväärtus [**1 p**]).

E1. (*HELKUR*) (*10 p.*) *Autor: Jaan Kalda*

Teha fooliumisse pliiatsi otsaga pisike auk ja panna see lambi ette, et see oleks lähedane punktvalgusallikale [**2 p**]. Suunata taskulambi valgus helkurile ja vaadata taskulambi tagant nii, et helkur on nähtav otse taskulambi tagant. Leida selline minimaalne taskulambi ja helkuri vaheline kaugus, kus helkur veel helendab ([**2 p**], kui protseduur on arusaadavalt kirjeldatud või selgitatud joonisel). Mõõta see kaugus L, nt $L = 50\,\mathrm{cm}$ [**2 p**] ning taskulambi valgusdioodi kaugus lambi korpuse äärest a, nt $a = 13\,\mathrm{mm}$ [**2 p**]. Koonuse tipunurga α leidmiseks kasutame antud tekstis antud valemit: $\alpha = \frac{180^\circ}{\pi}\frac{a}{L}$. Antud arvude puhul leiame $\alpha \approx 1{,}5^\circ$.

Lõpptulemuse (arvväärtuse) eest jagada punkte järgnevalt:

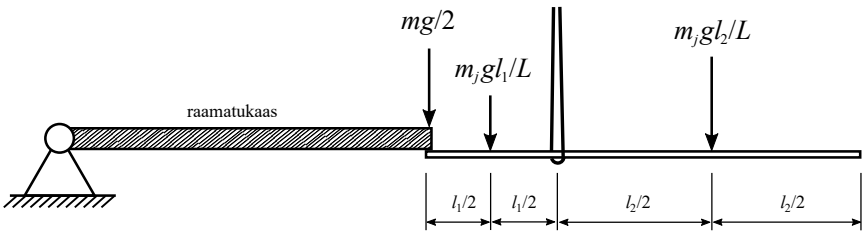
- Kui vastus ei erine õigest vastusest mitte rohkem kui 1,5 korda [**2 p**]
- kui erinevus õigest vastusest on vahemikus 1,5 kuni 2 korda [**1 p**]
- kui erinevus on suurem kui 2 korda [**0 p**]

NB! Õige nurga väärtus tuleb hindajatel kohapeal kindlaks teha, sest erinevatel helkuritel on see erinev.

E2. (*RAAMATUKAAS*) (*12 p.*) *Autor: Päivo Simson*

Tekitame niidi ja joonlaua abil kangi (hoiame niidijupi mõlemat otsa sõrmede vahel ja paneme joonlaua tekkinud aastast läbi). Joonlaua ühe otsa paneme laual oleva raamatu pealmise kaane alla ja tõstame joonlauda niidist. Nihutame niiti joonlaual seni, kuni raamatu kaas veidi kerkib ja kang jääb tasakaalu. Mõõdame kangi õlad ja arvutame raamatukaane massi.

Olgu m otsitav raamatukaane mass, m_j teadaolev joonlaua mass, g raskuskiirendus, L joonlaua kogupikkus, l_1 tasakaalustatud kangi raamatupoolne õlg ja l_2 kangi teine õlg ($L = l_1 + l_2$). Toetuspunkti suhtes raamatu poole jääva joonlaua osa kaal on $m_j g l_1/L$ ja efektiivne jõuõlg on $l_1/2$, Teise osa kaal on $m_j g l_2/L$ ja efektiivne jõuõlg on $l_2/2$. Lisaks on joonlaua raamatupoolsesse otsa rakendatud pool raamatukaane kaalust, $mg/2$ (raamatukaan toetub kahele otstes olevale toele ning mõjutab kumbagi tuge sama suure jõuga, mis on pool kaane kaalust). Selle jõu õlg on l_1.



Kangi tasakaalutingimus on

$$\frac{mg}{2} l_1 + \frac{m_j g l_1}{L} \frac{l_1}{2} = \frac{m_j g l_2}{L} \frac{l_2}{2}.$$

Korrutame saadud võrduse kahega ja jagame g-ga:

$$m l_1 + \frac{l_1}{L} m_j l_1 = \frac{l_2}{L} m_j l_2.$$

Siit saame avaldada raamatukaane massi:

$$m = m_j \frac{l_2^2 - l_1^2}{l_1(l_1 + l_2)} = m_j \frac{l_2 - l_1}{l_1}.$$

Hindamisskeem:

- Idee, et joonlauda kasutada kangina — [**1,5 p**]
- Idee, et niiti kasutada kangi teljena — [**1 p**]
- Idee, et pannes saadud kangi ühe õla raamatukaane alla ja tõstes kaant väga vähe, saab kangi tasakaalustada ja seeläbi määrata raamatukaane massi (või mõni teine samaväärne meetod) — [**3 p**]
- Arvestatud on poolega raamatukaane kaalust — [**1,5 p**]
- Korrektselt ja ja eelnevale ideele vastavalt kirja pandud kangi tasakaalutingimus — [**1 p**]
- Tasakaalutingimusest õigesti tuletatud avaldis raamatukaane massi arvutamiseks — [**1 p**]
- Õigesti sooritatud mõõtmised ja arusaadavalt kirja pandud mõõtmistulemused — [**1 p**]
- On saadud tõepärane vastus. Vastus erineb tegelikust kaalust maksimaalselt 10% — [**2 p**]. Vastus erineb tegelikust kaalust vahemikus 10% - 20% — [**1 p**].