

PERUSSARJA

Vastaa huolellisesti ja siististi!

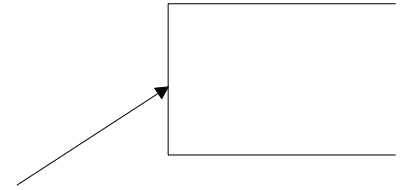
Kirjoita tekstaten koepaperiin oma nimesi, kotiosoitteesi, sähköpostiosoitte, opettajasi nimi sekä koulusi nimi.

Kilpailuaikaa on 100 minuuttia.

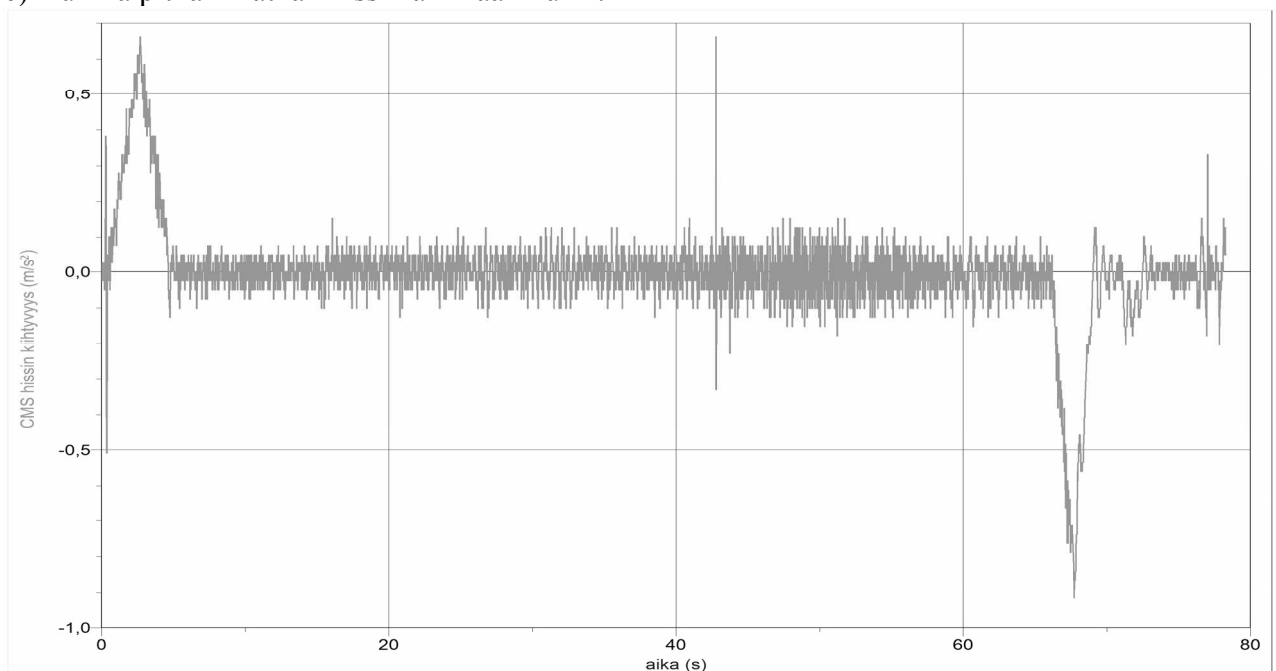
Sekä tehtävä- että koepaperit palautetaan kilpailun loputtua.

1. Lentokone, jonka massa on 122 tonnia, nousee 220 sekunnissa 2,0 km korkeuteen. Tällöin se saavuttaa nopeuden 770 km/h.
 - a) Kuinka suuren työn sen moottorit ovat vähintään tehneet?
 - b) Mikä on ollut moottorien yhteenlaskettu vähimmäisteho?
 - c) Kuinka paljon on polttoaineena käytettyä petroolia vähintään kulunut? Käytännössä lentokone kuluttaa nousun aikana 450 kg lentopetrolia. Pohdi mistä ero johtuu.

2. Optisen kuidun päähän saapuu valonsäde ilmasta kuvan mukaisesti. Tapahtuuko kuidun sisällä kokonaisuheijastuminen, kun tulo kulma on 60° ? Kuidun taitekerroin on 1,3.



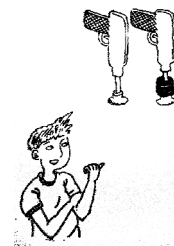
3. Oheinen kuvaaja esittää Cernin CMS-koegaseman hissin liikettä. Kuvaaja on saatu tietokoneeseen liitetyn kiihtyvyyssanturin avulla. Anturin positiivinen suunta on valittu ylöspäin.
 - a) Päättelä kuvaajan perusteella, miten ja mihin suuntaan hissi liikkuu.
 - b) Mikä on hissin nopeus tasaisen liikkeen aikana?
 - c) Kuinka pitkän matkan hissi kaikkiaan kulki?



4. Monivalintatehtävä. Valitse kussakin kohdassa mielestäsi sopivin vaihtoehto (vain yksi). Perustelee valintasi..

A. Kaksi samanlaista jousipyssyä laukaistaan yhtä aikaa suoraan alaspäin. Toisessa jousipyssyssä on tavallinen nuoli, toisen nuoli on varustettu lisäpainolla.

- Tavallinen nuoli osuu ensin maahan.
- Lisäpainollinen nuoli osuu ensin maahan.
- Nuolet osuvat yhtäaikaan maahan.



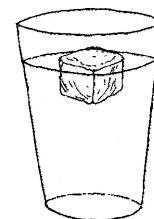
B. Leena roikkuu yhdellä kädellä kuvan mukaisesti köydessä, joka on katkeamaisillaan. Kumpi puoli köydestä todennäköisemmin pettää?

- vasen puoli
- oikea puoli
- kummallakin puolella on yhtä suuri todennäköisyys pettää



C. Maassa oleva astronautti huomaa, että hänen jääpalansa kelluu vedessä siten, että noin 9/10 jääpalasta on uponneena veteen. Jos hän olisi laskeutuneena kuunmodulissa Kuun pinnalle, jäätä olisi uponnut veteen

- vähemmän kuin 9/10 tilavuudesta
- 9/10 tilavuudesta
- enemmän kuin 9/10 tilavuudesta.



D. Kun pingpong-pallo tiputetaan riittävän korkealta, se saavuttaa lopulta rajanopeuden ja putoaa tasaisesti. Oletetaan, että sama pallo heitetään ylöspäin suuremmalla nopeudella kuin ko. rajanopeus. Sillä hetkellä, kun ylöspäin liikkuvan pallon nopeus on yhtä suuri kuin rajanopeus, sen kiihtyvyyden on

- nolla.
- suurempi kuin nolla, mutta pienempi kuin g .
- g .
- suurempi kuin g .



5. Ydinvoimalaitoksen käytetyn polttoaineen varastossa on varastoituna reaktorissa olleita polttoainepipuja syviin vesialtaisiin. Altaissa on vettä $3\,000\text{ m}^3$. Nipuissa on huomattavat määrät radioaktiivisia aineita, jotka tuottavat hajotessaan lämpöenergiaa. Kaikkien nippujen yhteinen lämpöteho on $0,80\text{ MW}$ ja niissä olevan uraanioksidin kokonaismassa on $4\,000\text{ t}$. Tämä lämpöteho poistetaan moninkertaisesti varmistetuilla järjestelmillä, jotka pitävät vesialtaat 20°C lämpötilassa.

- Oletetaan, että kaikki polttoaineen jälkilämpöä poistavat järjestelmät sammuvat eikä mihinkään toimenpiteisiin ryhdytä. Oletetaan, ettei altaista siirry lämpöenergiaa rakenteisiin eikä ilmaan. Kuinka kauan kestää, että altaitten vesi kiehuu? Voit olettaa, että vesihöyry poistuu ilmaston kautta.
- Erään tällaisen nipun teho on 230 W . Nippu sijoitetaan tutkimuslaitteeseen, jossa nipun alosaan syötetään vettä putkesta, jonka halkaisija on $1,0\text{ cm}$. Oletetaan, että alapäähän tulevan veden lämpötila on 20°C . Nipun yläpäässä veden lämpötila on 21°C . Mikä on veden virtausnopeus syöttöputkessa?

AVOIN SARJA

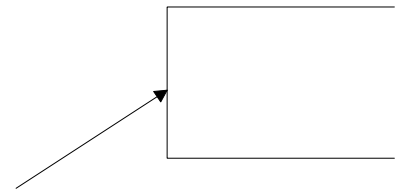
Kirjoita tekstaten koepaperiin oma nimesi, kotiosoitteesi, sähköpostiosoitteesi, opettajasi nimi sekä koulusi nimi.

Kilpailuaikaa on 100 minuuttia.

Sekä tehtävä- että koepaperit palautetaan kilpailun loputtua.

1. Kokeellinen tehtävä. Määritä pyykkipojan ”jousen” jousivakio. Arvioi, mitä virhelähteitä mittauksessa voi olla. Välineet: mittanauha, talousvaaka, pyykkipoika.

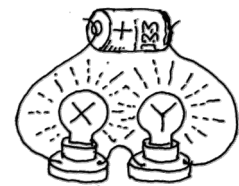
2. Optisen kuidun päähän saapuu valonsäde ilmasta kuvan mukaisesti 40 asteen tulokulmassa. Kuinka monta kertaa valonsäde kokonaisuheijastuu suorassa valokaapelissa, jonka pituus on 2,0 m ja halkaisija 200 μm ? Kuidun taitekerroin on 1,3.



3. Monivalintatehtävä. Valitse kussakin kohdassa mielestäsi sopivin vaihtoehto (vain yksi). Perustele valintasi.

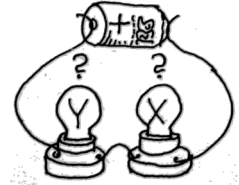
- A. Kun sarjaan kytketyt lamput X ja Y yhdistetään paristoon, lamppu X hehkuu kirkkaammin kuin lamppu Y. Kun lamppujen järjestys vaihdetaan,

- a) lamppu X hehkuu jälleen kirkkaammin.
 b) lamppu Y hehkuu kirkkaammin.
 c) kumpi tahansa saattaa hehkua kirkkaammin.



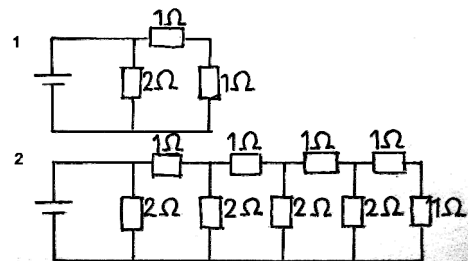
- B. Kun samat lamput X ja Y kytketään rinnan paristoon,

- a) lamppu X hehkuu kirkkaammin.
 b) lamppu Y hehkuu kirkkaammin.
 c) kumpi tahansa saattaa hehkua kirkkaammin.



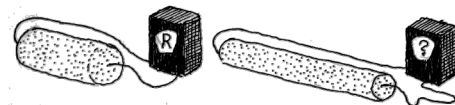
- C. Ohessa on esitetty kaksi virtapiiriä, joissa on samanlaiset jännitelähteet.

- a) Sähkövirta on suurempi virtapiirissä 1.
 b) Sähkövirta on suurempi virtapiirissä 2.
 c) Sähkövirta on yhtä suuri virtapiirissä 1 ja 2.

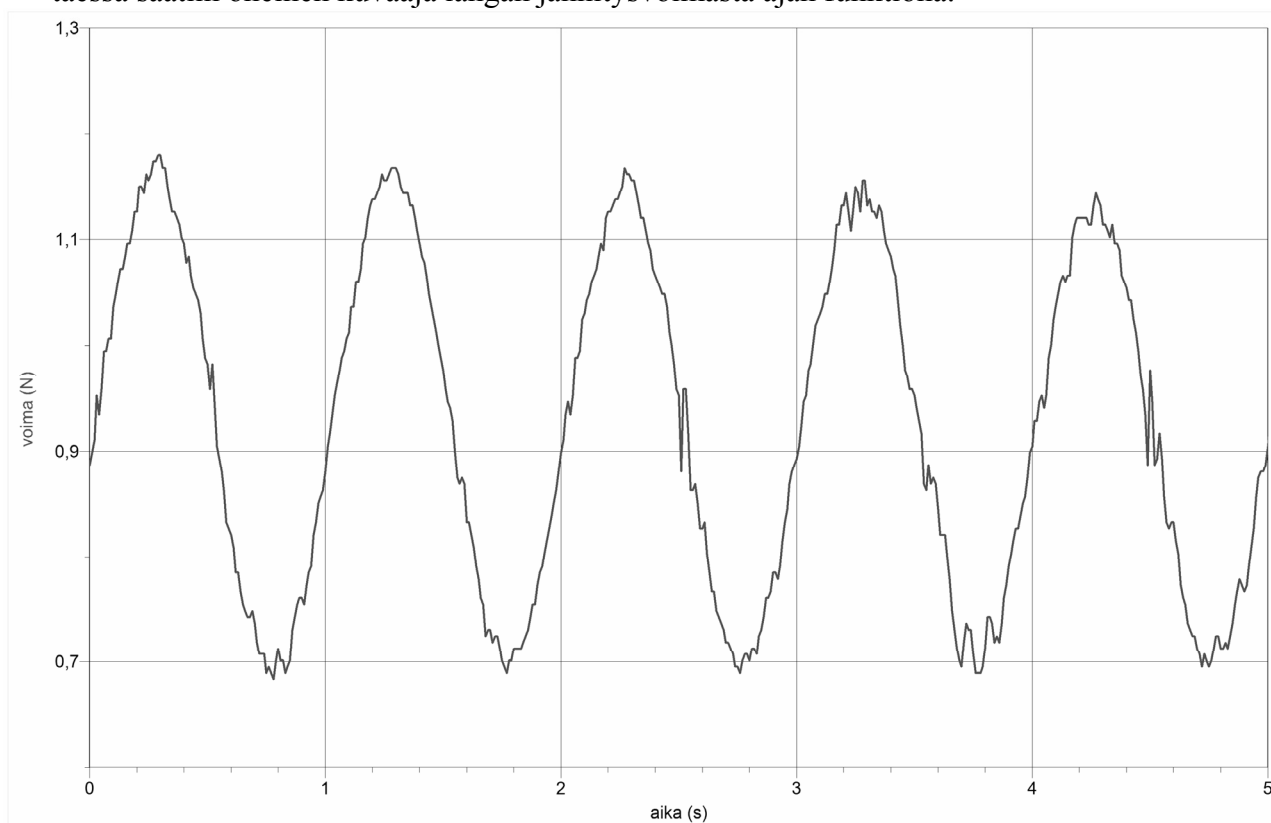


- D. Muovailuvahasta pyöritetään sylinterin muotoinen pötkö, jonka päiden välinen resistanssi mitataan yleismittarilla. Kun sama muovailuvaha pyöritetään pituudeltaan kaksinkertaiseksi pötköksi, sen resistanssi

- a) pysyy ennallaan.
 b) kaksinkertaistuu.
 c) nelinkertaistuu.
 d) kahdeksankertaistuu.
 e) itse asiassa pienenee.



4. Ydinvoimalaitoksen käytetyn polttoaineen varastossa on varastoituna reaktorissa olleita polttoainenippuja syviin vesialtaisiin. Altaissa on vettä $3\,000\text{ m}^3$. Nipuissa on huomattavat määrät radioaktiivisia aineita, jotka tuottavat hajotessaan lämpöenergiaa. Kaikkien nippujen yhteinen lämpöteho on $0,80\text{ MW}$ ja niissä olevan uraanioksidin kokonaismassa on $4\,000\text{ t}$. Tämä lämpöteho poistetaan moninkertaisesti varmistetuilla järjestelmillä, jotka pitävät vesialtaat 20°C lämpötilassa.
- Oletetaan, että kaikki polttoaineen jälkilämpöä poistavat järjestelmät sammuvat eikä mihinkään toimenpiteisiin ryhdytä. Oletetaan, ettei altaista siirry lämpöenergiaa rakenteisiin eikä ilmaan. Kuinka kauan kestää, että altaitten vesi kiehuu? Voit olettaa, että vesihöyry poistuu ilmastoinnin kautta.
 - Erään tällaisen nipun teho on 230 W . Nippu sijoitetaan tutkimuslaitteeseen, jossa nipun alosaan syötetään vettä putkesta, jonka halkaisija on $1,0\text{ cm}$. Oletetaan, että alapäähän tulevan veden lämpötila on 20°C . Nipun yläpäässä veden lämpötila on 21°C . Mikä on veden virtausnopeus syöttöputkessa?
5. Oppitunnilla tutkittiin heilurin liikettä. Heilurin langan pituus oli 96 cm ja sen päässä oli pieni mutta raskas punnus, jonka massa oli 90 grammaa . Heiluri oli kiinnitetty voima-anturiin. Mitattaessa saatiin oheinen kuvaaja langan jännitysvoimasta ajan funktiona.



Määritä kuvaajan perusteella

- heilurin taajuus,
- heilurin nopeus ala-asemassa ja
- heilurin kiihtyvyyden ääriasemassa.

PERUSSARJA

Vastaa huolellisesti ja siististi!

Kirjoita tekstaten koepaperiin oma nimesi, kotiosoitteesi, sähköpostiosoite, opettajasi nimi sekä koulusi nimi.

Kilpailuaikaa on 100 minuuttia.

Sekä tehtävä- että koepaperit palautetaan kilpailun loputtua.

1. Lentokone, jonka massa on 122 tonnia, nousee 220 sekunnissa 2,0 km korkeuteen. Tällöin se saavuttaa nopeuden 770 km/h.
- Kuinka suuren työn sen moottorit ovat vähintään tehneet?
 - Mikä on ollut moottorien yhteenlaskettu vähimmäisteho?
 - Kuinka paljon on polttoaineena käytettyä petroolia vähintään kulunut? Käytännössä lentokone kuluttaa nousun aikana 450 kg lentopetroolia. Pohdi mistä ero johtuu.

RATKAISU

- a) Kone saa sekä liike- että potentiaalienergiaa nousun aikana:

$$W = W_k + W_p = \frac{1}{2} \cdot mv^2 + mgh = \frac{1}{2} \cdot 122000 \text{kg} \cdot \left(214 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 122000 \text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2000 \text{m} = 5,19 \times 10^9 \text{J}$$

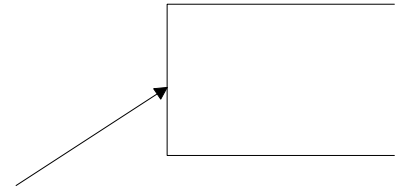
2p

- b) Teho $P = \frac{W}{t} = \frac{5,184 \cdot 10^9 \text{J}}{220 \text{s}} = 23,6 \cdot 10^6 \text{W} = 23,6 \text{MW}$ **2p**

- c) Petrolin lämpöarvo $LA = 43 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$, petrolin kulutus on $\frac{W}{LA} = \frac{5,184 \cdot 10^9 \text{J}}{43 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 120 \text{kg}$ **1p**

Laskettua polttoaineen kulutusta on pidettävä pienenä. Polttomoottorin hyötysuhde on 0,3 suuruusluokkaa, mikä nostaa kulutuksen 400 kilogrammaan. Vastusvoimien tekemän työn arviointi on vaikeampaa, mutta jos sen osuus olisi 10%, niin saisimme polttoaineen kulutukseksi noin 450 kg. **pohdinta 1p**

2. Optisen kuidun päähän saapuu valonsäde ilmasta kuvan mukaisesti. Tapahtuuko kuidun sisällä kokonaisheijastuminen, kun tulokulma on 60° ? Kuidun taitekerroin on 1,3.



Ratkaisu

Kokonaisheijastuksen rajakulma rajapinnassa kuitu \rightarrow ilma

toteuttaa ehdon $\frac{\sin \beta}{\sin 90^\circ} = \frac{n_1}{n_2}$, toisin sanoen $\sin \beta = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1,0}{1,3}$,

josta saadaan $\beta = 50,28^\circ$.

(2 p)

Komplementtikulmana $\alpha_2 = 90^\circ - \beta = 39,72^\circ$.

Kuidun päädyssä tapahtuvassa taitumisessa $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$:

$\sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin \alpha_2 = \frac{1,3}{1,0} \sin 39,72^\circ$, josta saadaan $\alpha_1 = 56,17^\circ \approx 56,2^\circ$.

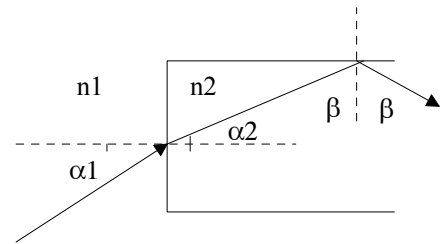
Suurin tulokulma kuituun on $56,2^\circ$.

Vastaus: Kokonaisheijastusta ei tapahdu.

(1 p kuvio)

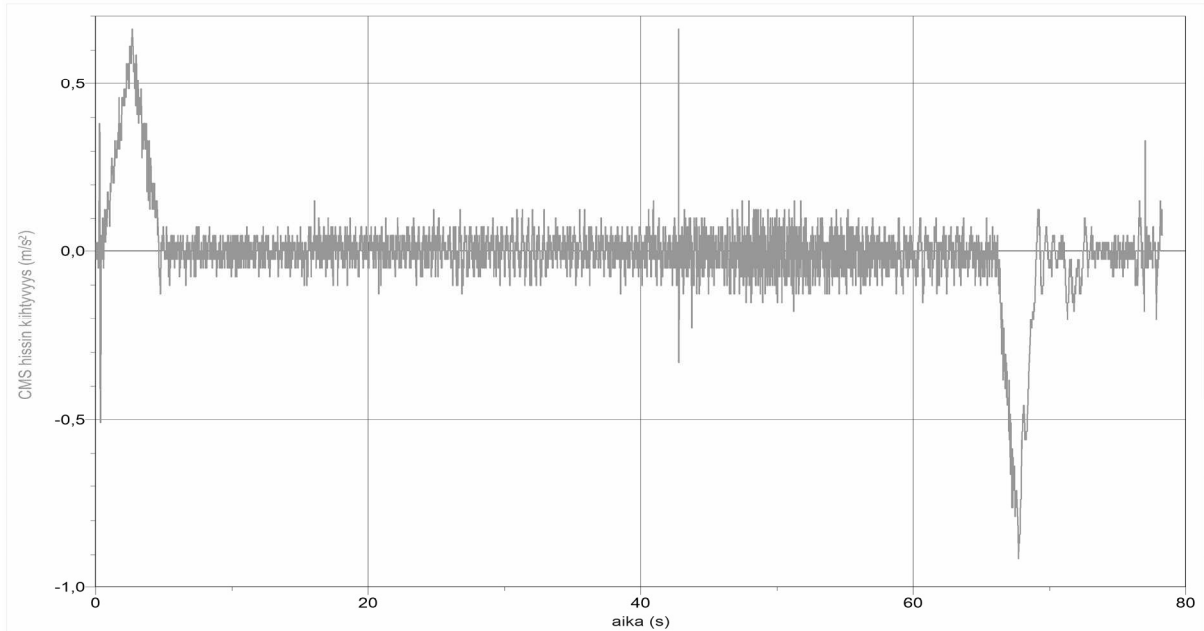
(2 p)

(1 p)



Tehtävän voi ratkaista myös laskemalla tulokulmaa 60° vastaavan taitekulman ja sen avulla tutkia tapahtuuko kokonaisheijastuminen rajapinnassa kuitu \rightarrow ilma.

3. Oheinen kuvaaja esittää Cernin CMS-koemasen hissin liikettä. Kuvaaja on saatu tietokoneeseen liitetyn kiihtyvyyssanturin avulla. Anturin positiivinen suunta on valittu ylöspäin.
- Päättele kuvaajan perusteella, miten ja mihin suuntaan hissi liikkuu.
 - Mikä on hissin nopeus tasaisen liikkeen aikana?
 - Kuinka pitkän matkan hissi kaikkiaan kulki?



Ratkaisu

a) Hissi lähtee alhaalta ylöspäin kiihdyttäen n. 4,7 s. aikavälin 4,7 s – 66 s hissi kulkee tasaisesti. Hissi jarruttaa ylhäällä aikavälillä 66 s – 69 s. Ajan hetkestä 69 s → hissi on paikallaan. **2p**

b) Levosta liikkeelle lähtevän hissin nopeus lähtökiihdytyksen jälkeen saadaan kiihtyvyyden kuvaajan ja aika-akselin välisenä fysikaalisena pinta-alana, joka saadaan likimain kolmion alana

$$\frac{4,7 \text{ s} \cdot 0,65 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} = 1,53 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \text{ Hissin nopeus on tasaisen liikkeen aikana } 1,5 \text{ m/s. } \mathbf{2p}$$

c) Koska kiihdytyksessä kiihtyvyys kasvaa yhtä nopeasti kuin pieneneekin, on nopeuden kuvaaja ensin ylöspäin aukeava paraabeli ja sitten yhtä kaarevasti alaspäin aukeava paraabeli. Tästä seuraa, että kiihdytyksen aikana nopeuden kuvaajan alle jäävä pinta-ala eli kuljettu matka voidaan laskea nopeuden keskimmäisen arvon avulla. Näin ollen hissin kiihdytyksessä kulkema

$$\text{matka on likimain } s = v_k t = \frac{v}{2} \cdot t = \frac{1,53 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} \cdot 4,7 \text{ s} = 3,59 \text{ m} \approx 3,6 \text{ m}. \text{ Tasaisen liikkeen aikana}$$

$$\text{kuljettu matka on } s = vt = 1,53 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (66 \text{ s} - 4,7 \text{ s}) = 93,8 \text{ m}. \text{ Jarrutuksessa hissi kulkee matkan}$$

$$s = v_k t = \frac{v}{2} \cdot t = \frac{1,53 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} \cdot 3,0 \text{ s} = 2,30 \text{ m} \approx 2,3 \text{ m} \text{ (sama perustelu kuin kiihdytyksessä).}$$

Hissin kulkema matka on kaikkiaan $3,59 \text{ m} + 93,8 \text{ m} + 2,30 \text{ m} = 99,7 \text{ m} \approx 100 \text{ m}$. **2p**

4. Monivalintatehtävä. Valitse kussakin kohdassa mielestäsi sopivin vaihtoehto (vain yksi).
Perustele valintasi.

A. Kaksi samanlaista jousipyssyä laukaistaan yhtä aikaa suoraan alaspäin. Toisessa jousipyssyssä on tavallinen nuoli, toisen nuoli on varustettu lisäpainolla.

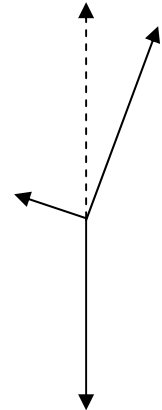
a) Tavallinen nuoli osuu ensin maahan.

Tavallisella nuolella on suurempi nopeus, kun se irtoaa jousesta, sillä vaikka nuoliin kohdistuvat jousivoimat ovat yhtä suuret, on tavallisen jousen massa pienempi, jolloin jousivoiman sille aiheuttama kiihtyvyyden on suurempi. Jousesta irrottuaan nuolilla on yhtä suuret kiihtyvyydet (putoamiskiihtyvyyden g).

B. Leena roikkuu yhdellä kädellä kuvan mukaisesti köydessä, joka on katkeamaisillaan. Kumpi puoli köydestä todennäköisemmin pettää?

b) oikea puoli

Köyden puoliskojen jännitysvoimien täytyy yhdessä tasapainottaa Leenan paino. Kun Leenan painon suuruinen, mutta vastakkaisuuntainen voima jaetaan köysien suuntaisiksi jännitysvoimiksi, huomataan, että oikean puoleiseen köyteen kohdistuu suurempi voima.



C. Maassa oleva astronautti huomaa, että hänen jääpalansa kelluu vedessä siten, että noin 9/10 jääpalasta on uponneena veteen. Jos hän olisi laskeutuneena kuumodulissa Kuun pinnalle, jäätä olisi uponnut veteen

b) 9/10 tilavuudesta

Jääpalan, kuten muidenkin kappaleiden, kelluminen riippuu kappaleen painosta ja sen syrjäyttämän nesteen painosta. Kummatkin ovat suoraan verrannollisia putoamiskiihtyvyyden g . Tämän takia jääpala kelluu yhtä syväällä vedessä kuumodulissa Kuussa kuin Maassa.

D. Kun pingpong-pallo tiputetaan riittävän korkealta, se saavuttaa lopulta rajanopeuden ja putoaa tasaisesti. Oletetaan, että sama pallo heitetään ylöspäin suuremmalla nopeudella kuin ko. rajanopeus. Sillä hetkellä, kun ylöspäin liikkuvan pallon nopeus on yhtä suuri kuin rajanopeus, sen kiihtyvyyden on

d) suurempi kuin g .

Kun pallo liikkuu ylöspäin ja sen nopeus on sama kuin rajanopeus pudotessa, palloon kohdistuu sekä paino alaspäin että painon suuruinen ilmanvastus alaspäin. Kokonaisvoiman eli näiden yhdessä aiheuttama kiihtyvyyden on tällöin kaksi kertaa putoamiskiihtyvyyden g suuruinen eli selvästi enemmän kuin g .

Pisteytys: ½ p oikeasta valinnasta ja 1 p perustelusta.

5. Ydinvoimalaitoksen käytetyn polttoaineen varastossa on varastoituna reaktorissa olleita polttoainennippuja syviin vesialtaisiin. Altaissa on vettä $3\,000\text{ m}^3$. Nipuissa on huomattavat määrät radioaktiivisia aineita, jotka tuottavat hajotessaan lämpöenergiaa. Kaikkien nippujen yhteinen lämpöteho on $0,80\text{ MW}$ ja niissä olevan uraanioksidin kokonaismassa on $4\,000\text{ t}$. Tämä lämpöteho poistetaan moninkertaisesti varmistetuilla järjestelmillä, jotka pitävät vesialtaat 20°C lämpötilassa.
- Oletetaan, että kaikki polttoaineen jälkilämpöä poistavat järjestelmät sammuvat eikä mihinkään toimenpiteisiin ryhdytä. Oletetaan, ettei altaista siirry lämpöenergiaa rakenteisiin eikä ilmaan. Kuinka kauan kestää, että altaitten vesi kiehuu? Voit olettaa, että vesihöyry poistuu ilmaston kautta.
 - Erään tällaisen nipun teho on 230 W . Nippu sijoitetaan tutkimuslaitteeseen, jossa nipun alosaan syötetään vettä putkesta, jonka halkaisija on $1,0\text{ cm}$. Oletetaan, että alapäähän tulevan veden lämpötila on 20°C . Nipun yläpäässä veden lämpötila on 21°C . Mikä on veden virtausnopeus syöttöputkessa?

Ratkaisu

$$\text{a) } V_{\text{vesi}} = 3\,000\text{ m}^3 \qquad P_{\text{uraani}} = 0,80\text{ MW} \qquad c_{\text{vesi}} = 4,19 \cdot 10^3\text{ J/(kgK)}$$

$$T_1 = 293\text{ K (tai } 20^\circ\text{C)} \qquad T_2 = 373\text{ K (tai } 100^\circ\text{C)}$$

Veden ominaislämpökapasiteetti on niin paljon suurempi kuin uraanioksidin tai metalliosien, ettei niitä tarvitse huomioida. Veden oletetaan vastaanottavan kaiken uraaninippujen luovuttaman lämmön.

$$E_{\text{luovutettu}} = E_{\text{vastaanotettu}} \text{ eli } P_{\text{uraani}} t = cm\Delta T, \text{ josta saadaan } t = \frac{cm\Delta T}{P}, \text{ missä } m = \rho_{\text{vesi}} V_{\text{vesi}}.$$

$$t = \frac{4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3000\text{m}^3 \cdot (373\text{K} - 293\text{K})}{800000\text{W}} = 1,257 \cdot 10^6\text{ s} \approx \underline{\underline{15\text{d}}}$$

$$\text{b) } T_1 = 293\text{ K (tai } 20^\circ\text{C)} \qquad T_2 = 294\text{ K (tai } 21^\circ\text{C)}$$

$$P_{\text{nippu}} = 230\text{ W} \qquad d = 0,010\text{ m}$$

Tarkastellaan ajanjaksoa Δt . Jotta nippu ei lämpenisi, on virtaavan veden vastaanotettava kaikki uraaninippujen luovuttama lämpö.

$$E_{\text{luovutettu}} = E_{\text{vastaanotettu}} \text{ eli } P_{\text{nippu}} \Delta t = cm\Delta T. \text{ Sijoitetaan tähän veden massalle saatava lauseke}$$

$$m_{\text{vesi}} = \rho_{\text{vesi}} V_{\text{vesi}} = \rho_{\text{vesi}} A s_{\text{vesi}} = \rho_{\text{vesi}} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 s_{\text{vesi}}, \text{ missä } s_{\text{vesi}} \text{ on vesipötkön pituus. Nyt saadaan}$$

$$P_{\text{nippu}} \Delta t = c \rho_{\text{vesi}} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 s_{\text{vesi}} \Delta T, \text{ josta ratkaistaan virtausnopeus eli } \frac{s_{\text{vesi}}}{\Delta t} = \frac{P_{\text{nippu}}}{c_{\text{vesi}} \rho_{\text{vesi}} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \Delta T}.$$

$$v = \frac{s_{\text{vesi}}}{\Delta t} = \frac{230\text{W}}{4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \pi \left(\frac{0,010\text{m}}{2}\right)^2 (294\text{K} - 293\text{K})} \approx 0,6989 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx \underline{\underline{0,70 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Pisteytys

a-kohta: 2p. 1 p säilymislaista, 1 p tuloksesta.

b-kohta: 4p. 1 p säilymislaista, 1 p massasta, 1 p virtausnopeudesta, 1 p tuloksesta.

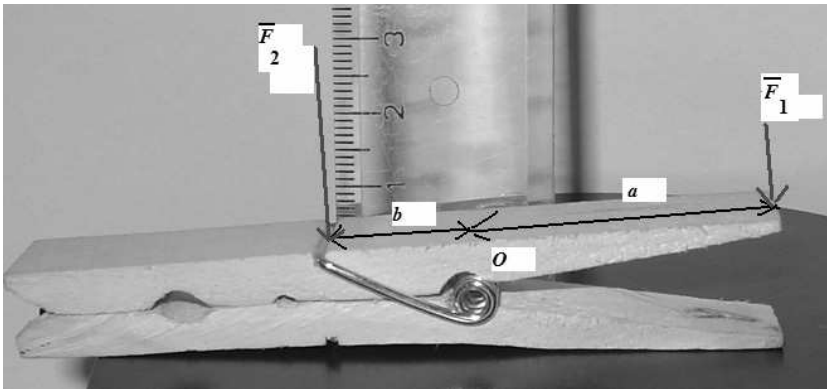
AVOIN SARJA

Kirjoita tekstaten koepaperiin **oma nimesi, kotiosoitteesi, sähköpostiosoitteesi, opettajasi nimi sekä koulusi nimi.**

Kilpailuaikaa on 100 minuuttia.

Sekä tehtävä- että koepaperit palautetaan kilpailun loputtua.

1. Kokeellinen tehtävä. Määritä pyykkipojan ”jousen” jousivakio. Arvioi, mitä virhelähteitä mittauksessa voi olla. Välineet: mittanauha, talousvaaka, pyykkipoika.

Ratkaisu


Asetetaan pyykkipoika vaa’an päälle ja viivain jousen kohdalle. Painetaan pyykkipojan päätä sormella ja luetaan vaa’an lukema sekä samalla lukema, kuinka paljon jousen pää nousee. **1p**

Tasapainoehto; $\Sigma M_o = 0$

$$F_1 a = F_2 b \Rightarrow$$

$$F_2 = \frac{F_1 a}{b} \quad \mathbf{1p}$$

Oletetaan, että jousivoima on harmoninen: Tällöin $F_2 = kx$, jossa x on pyykkipojan jousen poikkeama tasapainokohdasta kun pyykkipoikaa painetaan.

$$kx = \frac{F_1 a}{b} \quad \mathbf{1p}$$

$$k = \frac{F_1 a}{bx}$$

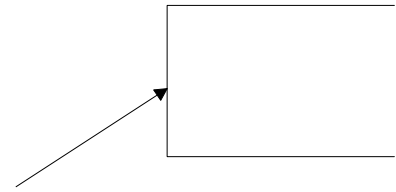
Mittauksissa on saatu seuraavia tuloksia kun $a = 4,0$ cm, $b = 2,0$ cm

| | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|
| x (mm) | 2 | 3 | 4 | 5 |
| vaa’an lukema (g) | 540 | 630 | 860 | 1040 |
| F_1 (N) | 5,29 | 6,18 | 8,43 | 10,2 |
| k (N/m) | 5300 | 4100 | 4200 | 4100 |

vain yksi mittaus **1p** useampia mittauksia **1p**

Virhettä aiheutuu vaa’an lukemisesta, koska puristamisen aikana lukema muuttuu. Pyykkipojan paikka saattaa muuttua myös puristamisen aikana jos tehdään useampia mittauksia. Jousen ”venymän” lukema aiheuttaa myös virhettä. **1p**

2. Optisen kuidun päähän saapuu valonsäde ilmasta kuvan mukaisesti 40° asteen tulokulmassa. Kuinka monta kertaa valonsäde kokonaisheijastuu suorassa valoakaapelissa, jonka pituus on $2,0\text{ m}$ ja halkaisija $200\ \mu\text{m}$? Kuidun taitekerroin on $1,3$.



Ratkaisu

Tutkitaan ensin, tapahtuuko kokonaisheijastusta:

Kokonaisheijastuksen rajakulma toteuttaa ehdon $\frac{\sin \beta}{\sin 90^\circ} = \frac{n_1}{n_2}$,

toisin sanoen $\sin \beta = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1,0}{1,3}$, josta saadaan $\beta = 50,28^\circ$.

(1 p)

Komplementtikulmina $\alpha_2 = 90^\circ - \beta = 39,72^\circ$.

Kuidun päädyssä tapahtuvassa taitumisessa $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$:

$\sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin \alpha_2 = \frac{1,3}{1,0} \sin 39,72^\circ$, josta saadaan $\alpha_1 = 56,17^\circ \approx 56,2^\circ$.

Kokonaisheijastuksen rajakulma on $56,2^\circ$, ts. kokonaisheijastus tapahtuu.

Lasketaan tämän jälkeen, kuinka kaukana kuidun päästä ensimmäinen kokonaisheijastus tapahtuu.

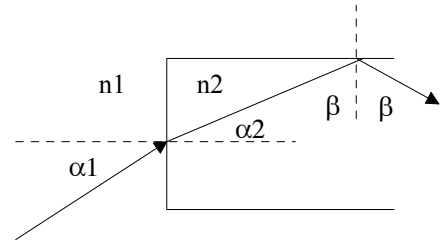
$\sin \alpha_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha_1 = \frac{\sin 40^\circ}{1,3} = 0,495$, mistä seuraa että $\alpha_2 = 29,7^\circ$.

(1 p)

Ensimmäinen kokonaisheij. tapahtuu etäisyydellä $l = \frac{d/2}{\tan \alpha_2} = \frac{100 \cdot 10^{-6}\text{ m}}{\tan 29,7^\circ} = 175,3 \cdot 10^{-6}\text{ m}$. (1 p)

Kokonaisheijastusten lukumäärä on $\frac{L}{2l} = \frac{2\text{ m}}{2 \cdot 175,3 \cdot 10^{-6}\text{ m}} = 5714 \approx \underline{\underline{5700}}$.

(1 p)



(1 p kuvio)

(1 p)

3. Monivalintatehtävä. Valitse kussakin kohdassa mielestäsi sopivin vaihtoehto (vain yksi). Perustelee valintasi. Pisteytys: $\frac{1}{2}$ p oikeasta valinnasta ja 1 p perustelusta.

A. Kun sarjaan kytketyt lamput X ja Y yhdistetään paristoon, lamppu X hehkuu kirkkaammin kuin lamppu Y. Kun lamppujen järjestys vaihdetaan,

a) lamppu X hehkuu jälleen kirkkaammin.

Lamppujen järjestys ei vaikuta sähkövirran suuruuteen lamputta vaan kummassakin on edelleen yhtä suuri sähkövirta, joten X hehkuu edelleen kirkkaammin. (Erilainen kirkkaus aiheutuu siitä, että lamput ovat erilaisia: $P_X = R_X I^2$ ja $P_Y = R_Y I^2$, joten voidaan päätellä, että $R_X > R_Y$.)

B. Kun samat lamput X ja Y kytketään rinnan paristoon,

b) lamppu Y hehkuu kirkkaammin.

Rinnankytkettyinä lamputta on sama jännitehäviö. Tällöin saadaan $P_X = \frac{U^2}{R_X}$ ja $P_Y = \frac{U^2}{R_Y}$, joten jos oletetaan, että muuttuneista ja keskenäänkin erilaisista sähkövirroista huolimatta $R_X > R_Y$, niin tällä kertaa $P_Y > P_X$.

C. Ohessa on esitetty kaksi virtapiiriä, joissa on samanlaiset jännitelähteet.

c) Sähkövirta on yhtä suuri virtapiireissä 1 ja 2.

Piirien kokonaisresistanssit ovat yhtä suuret. Kun yhdistetään piirin 2 oikeanpuoleiset sarjankytketyt 1Ω :n vastukset, saadaan niiden yhteiseksi resistanssiksi 2Ω . Nämä ovat taas rinnankytkettyjä 2Ω :n vastuksen kanssa, jolloin yhteiseksi resistanssiksi tulee 1Ω , jne.

D. Muovailuvahasta pyöritetään sylinterin muotoinen pötkö, jonka päiden välinen resistanssi mitataan yleismittarilla. Kun sama muovailuvaha pyöritetään pituudeltaan kaksinkertaiseksi pötköksi, sen resistanssi

c) nelinkertaistuu.

Kun sama muovailuvaha pyöritetään pituudeltaan kaksinkertaiseksi pötköksi, sen poikkipinta-ala puolittuu, sillä tilavuuden täytyy säilyä samana. Tällöin resistanssiksi saadaan

$$R = \rho \frac{2l}{\frac{1}{2}A} = 4\rho \frac{l}{A} = 4R_0.$$

Pisteytys: $\frac{1}{2}$ p oikeasta valinnasta ja 1 p perustelusta.

4. Ydinvoimalaitoksen käytetyn polttoaineen varastossa on varastoituna reaktorissa olleita polttoainenuippuja syviin vesialtaisiin. Altaissa on vettä $3\,000\text{ m}^3$. Nipuissa on huomattavat määrät radioaktiivisia aineita, jotka tuottavat hajotessaan lämpöenergiaa. Kaikkien nippujen yhteinen lämpöteho on $0,80\text{ MW}$ ja niissä olevan uraanioksidin kokonaismassa on $4\,000\text{ t}$. Tämä lämpöteho poistetaan moninkertaisesti varmistetuilla järjestelmillä, jotka pitävät vesialtaat 20°C lämpötilassa.
- Oletetaan, että kaikki polttoaineen jälkilämpöä poistavat järjestelmät sammuvat eikä mihinkään toimenpiteisiin ryhdytä. Oletetaan, ettei altaista siirry lämpöenergiaa rakenteisiin eikä ilmaan. Kuinka kauan kestää, että altaitten vesi kiehuu? Voit olettaa, että vesihöyry poistuu ilmaston kautta.
 - Erään tällaisen nipun teho on 230 W . Nippu sijoitetaan tutkimuslaitteeseen, jossa nipun alosaan syötetään vettä putkesta, jonka halkaisija on $1,0\text{ cm}$. Oletetaan, että alapäähän tulevan veden lämpötila on 20°C . Nipun yläpäässä veden lämpötila on 21°C . Nipussa vallitsee normaali ilmanpaine. Mikä on veden virtausnopeus syöttöputkessa?

Ratkaisu

$$\begin{aligned} \text{a) } V_{\text{vesi}} &= 3\,000\text{ m}^3 & P_{\text{uraani}} &= 0,80\text{ MW} & c_{\text{vesi}} &= 4,19 \cdot 10^3\text{ J/(kgK)} \\ T_1 &= 293\text{ K (tai } 20^\circ\text{C)} & T_2 &= 373\text{ K (tai } 100^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

Veden ominaislämpökapasiteetti on niin paljon suurempi kuin uraanioksidin tai metalliosien, ettei niitä tarvitse huomioida. Veden oletetaan vastaanottavan kaiken uraaninippujen luovuttaman lämmön.

$$E_{\text{luovutettu}} = E_{\text{vastaanotettu}} \text{ eli } P_{\text{uraani}} t = cm\Delta T, \text{ josta saadaan } t = \frac{cm\Delta T}{P}, \text{ missä } m = \rho_{\text{vesi}} V_{\text{vesi}}.$$

$$t = \frac{4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3000\text{m}^3 \cdot (373\text{K} - 293\text{K})}{800000\text{W}} \approx 1,257 \cdot 10^6\text{ s} \approx \underline{\underline{15d}}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } T_1 &= 293\text{ K (tai } 20^\circ\text{C)} & T_2 &= 294\text{ K (tai } 21^\circ\text{C)} \\ P_{\text{nippu}} &= 230\text{ W} & d &= 0,010\text{ m} \end{aligned}$$

Tarkastellaan ajanjaksoa Δt . Jotta nippu ei lämpenisi, on virtaavan veden vastaanotettava kaikki uraaninippujen luovuttama lämpö.

$$E_{\text{luovutettu}} = E_{\text{vastaanotettu}} \text{ eli } P_{\text{nippu}} \Delta t = cm\Delta T. \text{ Sijoitetaan tähän veden massalle saatava lauseke}$$

$$m_{\text{vesi}} = \rho_{\text{vesi}} V_{\text{vesi}} = \rho_{\text{vesi}} A s_{\text{vesi}} = \rho_{\text{vesi}} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 s_{\text{vesi}}, \text{ missä } s_{\text{vesi}} \text{ on vesipötkön pituus. Nyt saadaan}$$

$$P_{\text{nippu}} \Delta t = c \rho_{\text{vesi}} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 s_{\text{vesi}} \Delta T, \text{ josta ratkaistaan virtausnopeus eli } \frac{s_{\text{vesi}}}{\Delta t} = \frac{P_{\text{nippu}}}{c_{\text{vesi}} \rho_{\text{vesi}} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \Delta T}.$$

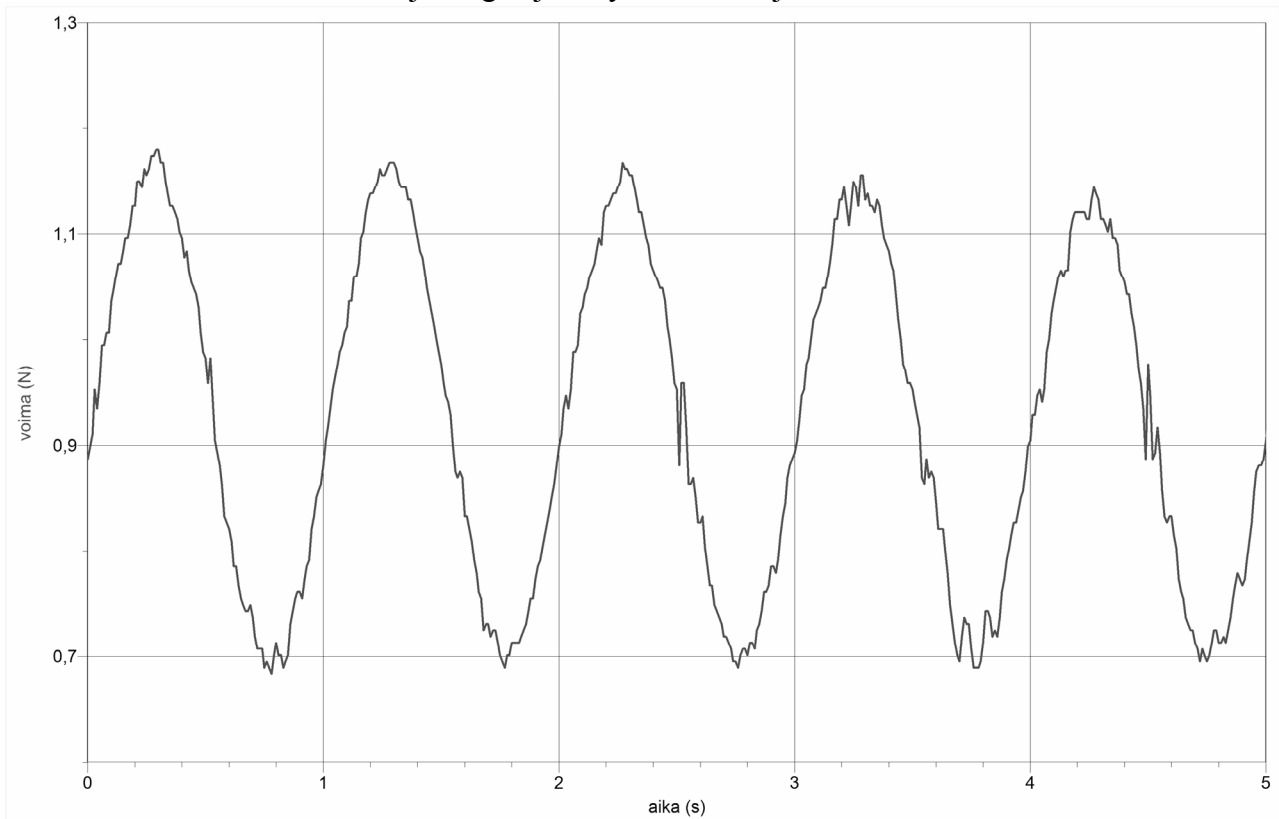
$$v = \frac{s_{\text{vesi}}}{\Delta t} = \frac{230\text{W}}{4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \pi \left(\frac{0,010\text{m}}{2}\right)^2 (294\text{K} - 293\text{K})} \approx 0,6989 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx \underline{\underline{0,70 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Pisteytys

a-kohta: 2p. 1 p säilymislaista, 1 p tuloksesta.

b-kohta: 4p. 1 p säilymislaista, 1 p massasta, 1 p virtausnopeudesta, 1 p tuloksesta.

5. Oppitunnilla tutkittiin heilurin liikettä. Heilurin langan pituus oli 96 cm ja sen päässä oli pieni mutta raskas punnus, jonka massa oli 90 grammaa. Heiluri oli kiinnitetty voima-anturiin. Mitattaessa saatiin oheinen kuvaaja langan jännitysvoimasta ajan funktiona.



Määritä kuvaajan perusteella

- heilurin taajuus
- heilurin nopeus ala-asemassa
- heilurin kiihtyvyys ääriasemassa.

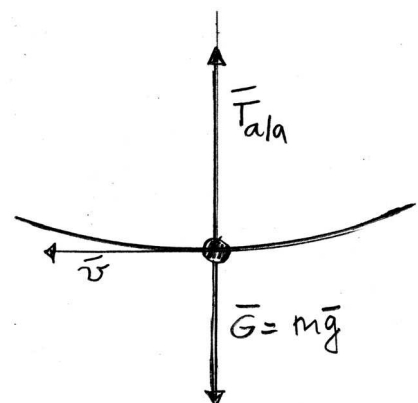
RATKAISU

- a) Punnuksen ohittaessa ratansa alimman kohdan on langan jännitysvoima suurimmillaan. Jos punnus on ensimmäisen jännitysmaksimin kohdalla menossa esim. vasemmalle, niin toisen maksimin kohdalla se on palaamassa vasemmanpuoleisesta ääriasennosta ja on menossa oikeanpuoleiseen äärikohtaansa. Vasta kolmannen jännitysmaksimin kohdalla on punnus palannut lähtökohtaansa ja on matkalla alkuperäiseen suuntaansa. Ensimmäisen ja kolmannen

jännitysmaksimin aikaero on 2,0 s josta taajuudeksi saadaan $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,0\text{s}} = \underline{0,50\text{Hz}}$. **2p.**

(Ratkaisu, jossa on käytetty matemaattisen heilurin heilahdusajan kaavaa eikä kuvaajaa **1p.**)

- b) Punnus on keskeisliikkeessä ala-asemassa ja sen liikeyhtälö on $\vec{T}_{ala} + \vec{G} = m\vec{a}_T + m\vec{a}_N = \vec{0} + m\vec{a}_N = m\vec{a}_N$ (ala-asemassa punnukseen ei vaikuta mikään liikkeen suuntainen voima, joten $\vec{a}_T = \vec{0}$)



Siirrytään itseisarvoihin: $T_{ala} - G = ma_N = m \frac{v^2}{l}$, josta saadaan punnuksen nopeudeksi ala-

$$\text{asemassa } v = \sqrt{\frac{(T_{ala} - G) \cdot l}{m}} = \sqrt{\frac{(1,18\text{N} - 0,090\text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \cdot 0,96\text{m}}{0,090\text{kg}}} = \underline{1,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \quad \mathbf{2p.}$$

c) Punnuksen liikeyhtälö ääriasennossa on

$$\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}_T + m\vec{a}_N = m\vec{a}_T + \vec{0} = m\vec{a}_T \quad (\text{ääriasennossa punnuksella ei ole vauhtia, joten sen normaalikihti} \left| \vec{a}_N \right| = \frac{v^2}{L} = \frac{0^2}{L} = 0).$$

Jaetaan voima $m\vec{g}$ komponentteihin $m \cos \theta g$ ja $m \sin \theta g$.

$$a_T = \frac{|\vec{T} + m\vec{g}|}{m} = \frac{m \sin \theta g}{m} = \sin \theta g = \left(\sqrt{1 - \cos^2 \theta} \right) g.$$

Määritetään $\cos \theta$:

$$\text{ääriasennossa langan suunnassa } T - m \cos \theta g = 0, \text{ josta } \cos \theta = \frac{T}{mg}.$$

Kuvaajasta luetaan jännitysvoima $T = 0,69\text{N}$, jolloin kiihtyvyys

$$a_T = \left(\sqrt{1 - \cos^2 \theta} \right) g = \left(\sqrt{1 - \left(\frac{T}{mg} \right)^2} \right) g = \left(\sqrt{1 - \left(\frac{0,69\text{N}}{0,090\text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)^2} \right) g = 0,62 \cdot g = 6,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}. \quad \mathbf{2p.}$$

$$(\text{Lisätulos: maksimi heilahduskulma on } \arccos \left(\frac{T}{mg} \right) = 39^\circ)$$

(Jos käytetty energian säilymlakia kulman θ määrittämiseksi, eikä kuvaajaa $\mathbf{1\frac{1}{2}p.}$)

