



LUKION FYSIIKKAKILPAILU 3.11.2015

## 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.***

***Vastaa vain neljään (4) tehtävään. Kokeellinen tehtävä eli tehtävä 1 on pakollinen. Muut kolme tehtävää voit valita vapaasti tehtävistä 2-5.***

*Graafista esitystä vaativissa tehtävissä kuvaaja voidaan laatia (millimetri)paperille ja ratkaista siitä tarvittaessa kuvaajan yhtälö. Vaihtoehtoisesti graafinen esitys voidaan tehdä graafisella tai symbolisella laskimella. Tällöin vastauksessa esitetään periaatekuva, josta käy ilmi, mitä suureita akseleilla on ja minkä muotoinen kuvaaja on sekä tarvittaessa annetaan laskimen ilmoittama kuvaajan yhtälö yksiköineen.*

1. Käytössäsi on pöytätaso, puupalikoita, metrimitta, työntömitta, sekuntikello ja vaaka. Määritä lieriönmuotoisen esineen hitausmomentti symmetria-akselin suhteen vierimisen avulla. Selvitä tarkasti, mitä suureita mittaat ja miten saat niiden avulla selville hitausmomentin. Merkitse tehtäväpaperiisi näkyviin myös mittaustulokset. Anna myös arvio hitausmomentille esineen mittasuhteiden ja massan perusteella. Pohdi, mitä virhelähteitä määrittelyyn liittyy.

**Ratkaisu:**

Päätetään pullo vierimään pitkin kaltevaa tasoa. Oletetaan, että ilmanvastus on pieni.

Mekaaninen energia säilyy:

$$E_{\text{kin}} + E_{\text{rot}} = E_{\text{pot}} \text{ eli } \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J\omega^2 = mgh. \quad 1\text{p}$$

Pullon liike on tasaisesti kiihtyvää, joten sen kulkema matka tason alapäässä on  $s = \frac{v}{2}t$  ja nopeus

$$s = \frac{v}{2}t \rightarrow v = \frac{2s}{t}.$$

Sijoitetaan vierimisehto  $v = \omega r$  ja ratkaistaan hitausmomentti:

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J \cdot \left(\frac{v}{r}\right)^2 = mgh \Rightarrow J = \frac{2mgh - mv^2}{\left(\frac{v}{r}\right)^2}. \quad 1\text{p}$$

Mitataan tason pituus  $s = 1,30 \text{ m}$

vierimisaika  $t = (2,34 \text{ s} + 2,52 \text{ s} + 2,45 \text{ s} + 2,49 \text{ s} + 2,35 \text{ s})/5 = 2,43 \text{ s}$

tason korkeus  $h = 0,090 \text{ m}$

pullon massa  $m = 0,114 \text{ kg}$

Pullon säde  $r = \frac{0,091 \text{ m}}{2} = 0,0455 \text{ m}$

Pullon nopeus tason alaosassa  $s = \frac{v}{2}t \rightarrow v = \frac{2s}{t} = \frac{2 \cdot 1,30 \text{ m}}{2,43 \text{ s}} = 1,07 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad 1\text{p}$

Pullon hitausmomentti on

$$J = \frac{2mgh - mv^2}{\left(\frac{v}{r}\right)^2} = \frac{2 \cdot 0,114 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,090 \text{ m} - 0,114 \text{ kg} \cdot \left(1,07 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\left(\frac{1,07 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,0455 \text{ m}}\right)^2} \quad 1\text{p}$$

$$= 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2 \approx 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

Pullo on ontton sylinterin muotoinen, joten sen hitausmomentiksi saadaan mittasuhteiden perusteella arvio:

$$J = mr^2 = 0,114 \text{ kg} \cdot (0,0455 \text{ m})^2 \approx 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2 \quad 1\text{p}$$

Virhelähteet

1p

2. Elämä kansainvälisellä avaruusasemalla.
- a) Miksi irti päästetyt esineet pysyvät avaruusasemalla paikoillaan?
  - b) Maassa kynttilän liekki suuntautuu ylöspäin. Päättele, millainen kynttilän liekki on avaruusasemalla.
  - c) Miksi astronauttien kehosta hikoilun tai hengityksen kautta erittyvä kosteus tulee poistaa avaruusasemasta?
  - d) Miksi avaruusasemalla olevan kosteuden poistamiseen käytetään kylmiä pintoja?
  - e) Mitä tapahtuu astiasta irti päässeelle nesteelle?

**Ratkaisu:**

- a) Avaruusasemalla ja esineillä on sama nopeus kiertoradallaan Maan ympäri ja sama kiihtyvyys kohti Maata. Näin ollen ne eivät liiku suhteessa toisiinsa.
- b) Kynttilän palamiskaasut ovat ympäröivää ilmaa harvempia ja nousevat Maassa ylöspäin, jolloin viileää ilmaa tulee kynttilän sydämeen antamaan happea. Painottomuudessa ei ole nostetta eikä suuntaa ”ylöspäin”, joten kuumakaan kaasu ei nouse. Avaruusasemalla kynttilän liekki on pallonmuotoinen. Liekki on hyvin pieni verrattuna Maassa olevaan kynttilään.
- c) Mikäli kehosta erittyvää nestettä ei poistettaisi avaruusaseman ilmasta, sen suhteellinen kosteus kasvaisi lähelle sataa prosenttia. Astronautit saisivat hengitysvaikeuksia.
- d) Kylmän pinnan lähellä ilman lämpötila on alhaisempi kuin muualla. Kylmään ilmaan kosteutta mahtuu vähemmän, joten suhteellinen kosteus saavuttaa arvon 100 % ja ilmassa olevaa vesihöyryä tiivistyy pisaroiksi kylmälle pinnalle. Pinnalta pisarat kootaan pois.
- e) Astiasta irti päässyt neste jää vapaasti kellumaan pisaroina. Veden pintajännitys saa aikaan veden muodostumisen pallomaisiksi pisaroiksi.

pisteytys: a) 2p  
b)-e) 1p / kohta

3. Äänennopeudelle kaasussa voidaan antaa ennuste yhtälöllä

$$c = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}},$$

jossa  $\gamma$  on kaasun adiabaattivakio,  $p$  on sen paine ja  $\rho$  sen tiheys.

- a) Tee yhtälön avulla ennuste äänennopeudelle Marsissa, jos oletetaan Marsin kaasukehän koostuvan vain ideaalikaasun tavoin käyttäytyvästä hiilidioksidista, jonka paine on 600 Pa ja lämpötila 218 K ja jolle adiabaattivakio on  $\gamma = 1,4$  (ko. olosuhteissa).
- b) Mikä on yhtälön avulla laskettu äänennopeus Maan ilmakehässä NTP-olosuhteissa? Ilmalle adiabaattivakio on myös  $\gamma = 1,4$  (ko. olosuhteissa).

**Ratkaisu:**

a)

$$\gamma = 1,4$$

$$p = 600 \text{ Pa (tätä ei tarvita laskussa)}$$

$$T = 218 \text{ K}$$

$$R = 8,314510 \frac{\text{Pa m}^3}{\text{mol K}}$$

$$M_{CO_2} = 12,01 \text{ g/mol} + 2 \cdot 16,00 \text{ g/mol} = 44,01 \text{ g/mol}$$

Ideaalikaasun tilanyhtälöstä  $pV = nRT$  ja tiheyden yhtälöstä  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{nM}{V}$  saadaan

$$c = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}} = \sqrt{\gamma \frac{nRT/V}{nM/V}} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}} = \sqrt{1,4 \cdot \frac{8,314510 \frac{\text{Pa m}^3}{\text{mol K}} \cdot 218 \text{ K}}{44,01 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}}} \approx 240,1236 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 240 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tehtävä voidaan ratkaista myös laskemalla hiilidioksidille tiheys Marsin olosuhteissa verrattuna NTP-olosuhteisiin. Tällöin saadaan  $\rho_{Mars} = \frac{p_{Mars}}{p_{NTP}} \cdot \frac{T_{NTP}}{T_{Mars}} \cdot \rho_{NTP}$ . Kun tämä sijoitetaan äänennopeuden

$$\text{lausekkeeseen, saadaan } c = \sqrt{\gamma \frac{T_{Mars} \cdot p_{NTP}}{T_{NTP} \cdot \rho_{NTP}}} = \sqrt{1,4 \cdot \frac{218 \text{ K} \cdot 101325 \text{ Pa}}{273,15 \text{ K} \cdot 1,97 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \approx 239,73 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx \underline{\underline{240 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

**pisteitys:** ideaalikaasun tilanyhtälön hyödyntäminen **1 p**, tiheys **1 p**, löydetty oikeat lukuarvot yhtälöön **1 p**, lopputulos **1 p**.

b)

$$\gamma = 1,4$$

$$p = 101325 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}} = \sqrt{1,4 \cdot \frac{101325 \text{ Pa}}{1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \approx 331,22496 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 330 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

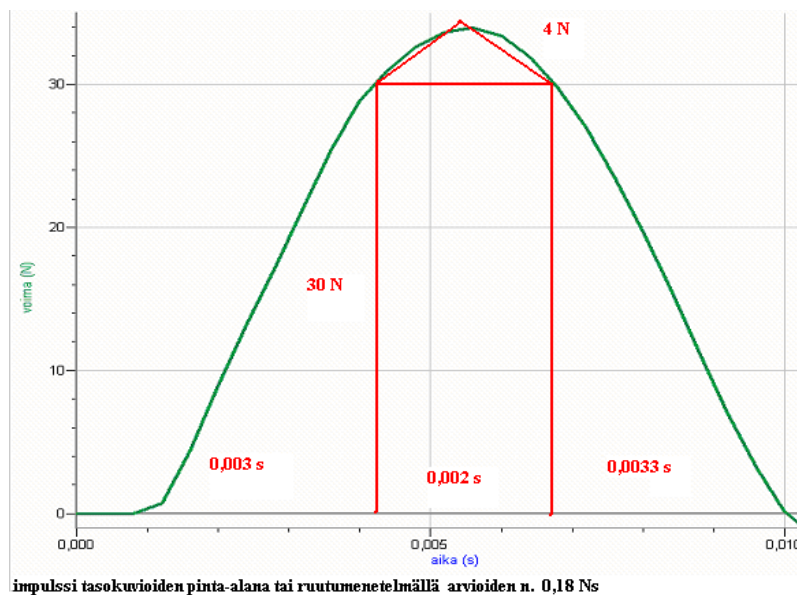
**pisteitys:** löydetty oikeat lukuarvot yhtälöön **1 p**, lopputulos **1 p**.

4. Työkurssilla tutkittiin puhallusputkella ammutun nuolen nopeutta. Nuoli, jonka massa oli 4,0 g, ammuttiin puupalikkaan, joka oli kiinni voima-anturissa. Voima-anturin lukema mitattiin mittaustietokoneella, jolloin saatiin oheinen kuvaaja.

- a) Kuinka suurella nopeudella nuoli osui puupalikkaan?  
 b) Kuinka korkealle nuoli voi lentää, jos ilmanvastus on kovin pieni?

### Ratkaisu

a) Sovelletaan impulssiperiaatetta:  $I = \Delta p$  ja selvitetään nuolen liikemäärän muutos eli tässä tapauksessa nuolen liikemäärä juuri ennen törmäystä hidastavan voiman impulssista. **1p**



Impulssiksi saadaan kuvaajasta graafisella integroinnilla noin 0,18 Ns. **1p**

$$F\Delta t = m\Delta v \Rightarrow \Delta v = v = \frac{F\Delta t}{m} = \frac{0,18 \text{ Ns}}{4,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}} \approx 45 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad \mathbf{1p}$$

b) Mikäli ilmalennon aikana liikemäärä ei ehdi merkittävästi pienentyä, hidastava impulssi on yhtä suuri (mutta vastakkaisuuntainen) kuin kiihdyttävä impulssi oli. Ylöspäin ammuttaessa kiihdyttävän voiman impulssista on vähennettävä painon impulssi, jotta saadaan kokonaisvoiman impulssi. Painon impulssi on kuitenkin merkityksettömän pieni ( $0,03924 \text{ N} \cdot t$ , missä  $t$  on pieni) ja nousukorkeuden osalta puhalluksen aikana edetty matkakin niin lyhyt, että ne voidaan jättää huomioimatta. **1p**

Mekaaninen energia säilyy **1p**

eli nousukorkeudeksi saadaan puhalluksen jälkeen:

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \rightarrow h = \frac{v^2}{2g} = \frac{\left(45 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 103,2 \text{ m} \approx \underline{\underline{100 \text{ m}}}. \quad \mathbf{1p}$$

Todellisuudessa korkeus on pienempi ilmanvastuksen vuoksi.

5. Erään eteläsuomalaisen koulun katolla on pinta-alaltaan varsin suuri aurinkovoimala, jonka toimintaa seurataan reaaliajassa. Kuvassa on voimalan teho eri kellonaikoina eräänä elokuisena päivänä.
- Selitä, miksi kuvaaja on sen muotoinen kuin on. Miksi kuvaajassa on useita ”kuoppia”?
  - Kuinka suuren määrän energiaa voimala tuotti kyseisenä päivänä?
  - Jos moderni henkilöauto kuluttaa 4,0 litraa bensiiniä 100 km matkalla, niin kuinka pitkän matkan vastaavanlainen sähköauto kulkee koulun aurinkovoimalan kyseisenä päivänä tuottamalla energialla? Polttomoottoriauton hyötysuhde on 0,30 ja sähköauton 0,89.
  - Litium-ioni-akun latausjännite on 400 volttia ja sisäinen resistanssi 220 milliohmia. Jos akusta otetaan tasainen 20kW:n teho, niin millä teholla akku lämpenee?

**Ratkaisu:**

- a) Auringon näennäisen liikkeen takia säteily osuu kiinteisiin aurinkopaneeleihin vaihtelevassa kulmassa. Aamulla ja illalla aurinko on matalalla ja paneeleihin osuvan säteilyn kokonaismäärä on pieni, keskipäivällä auringon ollessa korkeimmillaan saavutetaan maksimiarvot. Epäsäännöllisyys kuvaajassa selittyy sillä, että pilvet ovat ajoittain varjostaneet paneeleita. Kyseisenä päivänä varjostus on ollut pientä. 1p

- b) Koska akselien suureet ovat teho  $P$  ja aika  $t$ , energia saadaan kuvaajan ja aika-akselin rajoittamasta pinta-alasta. Yhden ruudun korkeus on 5 kW ja leveys 2 h, joten yhden ruudun edustama energia on  $E = P \cdot t = 5 \text{ kW} \cdot 2 \text{ h} = 10 \text{ kWh}$ . Pinta-ala on 15 kokonaista ruutua plus 12 vajaata ruutua.

$$E_{\text{voimala}} = \left(15 + \frac{12}{2}\right) \cdot 10 \text{ kWh} = 210 \text{ kWh} \quad (\text{mittarista } 202,5 \text{ kWh}). \quad \text{2p}$$

- c) Bensiinin lämpöarvo (taulukosta)  $H = 43,5 \text{ MJ/kg}$  ja tiheys  $\rho = 0,75 \text{ kg/l}$ . Sadan kilometrin matkalla bensiinimoottori tuottaa hyötyenergiaa

$$E_{b100km} = \eta_{\text{bens}} \cdot \rho \cdot V \cdot H = 0,30 \cdot 0,75 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 4,01 \cdot 43,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 39,2 \text{ MJ} \quad \text{1p}$$

Vastaavasti sähköauton moottori käyttää hyötyenergiaa matkalla  $x$

$$E_{sx} = \eta_s \cdot E_{\text{voimala}} = 0,89 \cdot 210 \text{ kWh} \cdot 3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} = 672,84 \text{ MJ}$$

Verrannosta  $\frac{39,2 \text{ MJ}}{100 \text{ km}} = \frac{672,84 \text{ MJ}}{x}$  saadaan sähköautolle matka  $x = s = \frac{672,84 \text{ MJ}}{39,2 \text{ MJ}} \cdot 100 \text{ km} \approx 1700 \text{ km}$ .

1p

- d) Sähkömoottorin akusta ottama virta  $I = \frac{P}{U} = \frac{20000 \text{ W}}{400 \text{ V}} = 50 \text{ A}$ .

$$\text{Akussa kehittyvä teho } P_{\text{akku}} = I^2 \cdot R = (50 \text{ A})^2 \cdot 0,220 \Omega = 0,55 \text{ kW}. \quad \text{1p}$$