

**Tfy-3.1182 Fysiikka IB, tentti 18.5.2012**

Taulukot ja muut muistiinpanot eivät ole sallittuja.

Ylioppilaskirjoituksissa hyväksyty laskin on sallittu.

Paperin kääntöpuolelta löydät hyödyllisiä kaavoja ja luonnonvakioita.

Perustele vastauksesi selkeästi.

**Tehtävä 1. (6 p.)**

Polkupyörän pumppu on sylinteri, jonka pituus on 40 cm ja paksuus 2,5 cm. Alussa sylinteri sisältää ilmaa, jonka lämpötila on 20°C ja paine 1 atm = 101,3 kPa. Pumpun ilman ulostuloaukko tukitaan ja pumpun ilma puristetaan nopeasti puoleen sylinterin kokonaistilavuudesta. Olettaen, että puristus on niin nopea, että sen aikana ilman ja sen ympäristön välillä siirtynyt lämpö on häviävän pieni, laske mikä pumpussa olevan ilman lämpötila on heti puristuksen jälkeen. Voit kuvata ilmaa kaksiatomisena ideaalikaasuna, jonka moolimassa on  $M_{\text{ilma}} = 28,96 \text{ g/mol}$ .

**Tehtävä 2. (6 p.)**

Tarkastellaan *Stirlingin kiertoprosessia* lämpövoimakoneessa, jossa työaineena on  $n$  moolia kaksiatomista ideaalikaasua, jonka molaariset ominaislämpökapasiteetit ovat  $C_V$  ja  $C_P$ . Stirlingin kiertoprosessi koostuu neljästä palautuvasta (reversiibelistä) osaprosessista:

1. Isoterminen puristus tilavuudesta  $V_1$  tilavuuteen  $V_2$  lämpötilassa  $T_L$ .
2. Isokoorinen lämmitys lämpötilasta  $T_L$  lämpötilaan  $T_H$ .
3. Isoterminen laajeneminen tilavuudesta  $V_3$  tilavuuteen  $V_4$  lämpötilassa  $T_H$ .
4. Isokoorinen jäähtyminen lämpötilasta  $T_H$  lämpötilaan  $T_L$ .

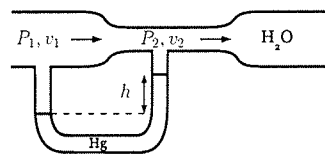
a) Piirrä Stirlingin kiertoprosessi PV-kuvaajaan.

b) Laske tehdyt työt ja lämmönsiirrot kiertoprosessin eri osissa.

c) Laske kiertoprosessin hyötysuhde.

d) Onko laskemasi ideaalisen Stirlingin koneen hyötysuhde pienempi, sama, vai suurempi kuin samojen lämpötilojen  $T_L$  ja  $T_H$  välillä toimivan (ideaalisen) Carnot'n koneen hyötysuhde?e) Olettaen että lämpötiloja  $T_L$  ja  $T_H$  ei voida muuttaa, esitä ainakin yksi tapa, jolla ideaalikaasua käyttävän Stirlingin kiertoprosessin hyötysuhdetta voidaan kasvattaa.**Tehtävä 3. (6 p.)**

Paine-eroa venturiputkessa mitataan yksinkertaisella U-manometrillä (kts. viereinen kuva). U-putkessa olevan elohopean (massatiheys  $\rho_{\text{Hg}} = 13,54 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) pintojen korkeusero venturiputken eri osien liitoskohtien välillä on  $h = 7,0 \text{ cm}$ . Veden (massatiheys  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) virtausnopeus paksussa kohtaa venturiputkea on 1,2 m/s, ja putken halkaisija tällä kohtaa on 10,0 cm. Mikä on veden virtausnopeus ohuessa kohtaa venturiputkea ja mikä on putken ohuen kohdan halkaisija?

**Tehtävä 4. (4+2 p.)**

a) Tarkastellaan yksiulotteista jaksollista aaltoa, jonka poikkeamaa kuvaa yhtälö

$$D(x, t) = A \cos(kx + \omega t + \phi_0),$$

jossa  $\phi_0$  on paikasta ja ajasta riippumaton vaihe siirtymä. Mihin suuntaan aalto liikkuu? Tämän aallon, jonka aallonpituus on  $\lambda = 0,1 \text{ m}$ , on synnyttänyt harmoninen värähtelijä, jonka värähtelytaajuus on  $f_v = 220 \text{ Hz}$ . Kuinka suuri on aallon amplitudi, kun tiedetään, että väliaineen värähtelevien hiukkasten maksiminopeus on yhtä suuri kuin aallon vaihenopeus  $v$ ?

b) Osoita, että kohdan (a) aalto toteuttaa aaltoyhtälön

$$\frac{\partial^2 D}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 D}{\partial t^2}.$$

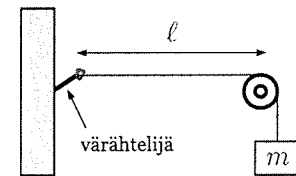
**Tehtävä 5. (4+2 p.)**

a) Yksinkertainen tapa tuottaa seisovia aaltoja langalla on käyttää kahta perusmuotoista, mutta vastakkaiseen suuntaan etenevää interferoivaa aaltoa. Osoita, että päistään kiinnitetyllä langalla, jonka pituus on  $\ell$  ja lineaarinen massatiheys  $\mu$ , ja joka on jännitetty voimalla  $F_T$ , seisovan aallon (resonanssin) taajuus on

$$f = \frac{n}{2\ell} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}},$$

missä  $n$  on positiivinen kokonaisluku.

b) Vaakasuoraan jännitetyn langan (lineaarinen massatiheys  $\mu = 0,66 \text{ g/m}$ ) toinen pää on kiinnitetty värähtelijään, jonka taajuus on  $f_v = 120 \text{ Hz}$ . Langan toinen pää kulkee väkipyörän yli etäisyydellä  $\ell = 1,5 \text{ m}$  värähtelijästä, ja langan päähän on kiinnitetty punnus, jonka massa on  $m$  (kts. viereinen kuva). Kuinka suuri tulee punnuksen massan olla, jotta värähtelevään lankaan syntyy seisova aalto, jossa on kaksi kupua? Voit olettaa, että seisovan aallon yksi solmukohta on kiinnityskohdassa värähtelijään.



$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \left( \frac{\alpha + \beta}{2} \right) \cos \left( \frac{\alpha - \beta}{2} \right); \quad \cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \left( \frac{\alpha + \beta}{2} \right) \cos \left( \frac{\alpha - \beta}{2} \right)$$

Moolinen kaasuvakio  $R = 8,3145 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ ; Boltzmannin vakio  $k_B = 1,3807 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ Normaaliputoamiskiihtyvyyys  $g = 9,807 \text{ m/s}^2$ ; Avogadron vakio  $N_A = 6,0221 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ Adiabaattivakio  $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{\ell + 2}{\ell}$ , jossa  $f$  on molekyylien vapausasteiden lukumäärä.Ideaalikaasulle  $C_P = C_V + R$ .