

Oman ohjelmoitavan laskimen käyttö sallittu.

Vastaa viiteen kysymykseen kuitenkin siten, että ainakin toinen kysymyksistä 4 tai 5 on vastattujen kysymysten joukossa.

1. Kaasun ominaisentalpian differentiaalilauseke, voidaan esittää muodossa

$$dh = C_p dT + \left[ v - T \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right] dp$$

missä  $C_p$  on kaasun ominaislämpö,  $v$  ominaistilavuus  $T$  lämpötila ja  $p$  paine. Määritä kaasun isentalpisessa laajenemisessa maksimi inversiolämpötila, mikäli kaasua voidaan

- a) mallintaa ideaalikaasuna
- b) mallintaa seuraavalla tilayhtälöllä

$$v = \frac{RT}{p} - \frac{a}{T} + b$$

missä  $a$  ja  $b$  ovat vakioita ja  $R$  yleinen kaasuvakio.

2. Esitä heliumin tilapiirros ja määritä heliumin trippelipiste. Kuvaile edelleen heliumiin liittyviä erityispiirteitä muihin kryogeeneisiin kaasuihin/nesteisiin nähden
3. Kuvaile Stirling –kryojäähdyttimen rakenne ja toimintaperiaate. Laite hyödyntää ns. regeneratiivista lämmönvaihdinta. Mitä tällä tarkoitetaan?
4. Kryojäähdyttimen kompressoriteho huoneenlämpötilassa ( $T = 300$  K) on 7.5 kW ja laitteen jäähdytyksen hyötykerroin ( $COP$ , Coefficient of Performance) on 25 % ideaalisesta Carnot'n arvosta. Millä nopeudella (kJ/min) laitteisto poistaa lämpöä jäähdytettävästä kohteesta, kun loppulämpötila on 77 K? Mikäli laitteella jäähdytetään 10 kg:n kuparimassa, kuinka kauan sen jäähtyminen kestää kyseiseen lämpötilaan? Kuparin ominaislämpö on 0.385 kJ/kgK.

**KÄÄNNÄ!**

5. Eristetyn paneelirakenteen (siis 1D lämmönjohtuminen) paksuus on 15 cm, poikkipinta-ala  $1 \text{ m}^2$  ja lämmönjohtavuus  $0.58 \text{ W/mK}$ . Paneelin ulkopuolella olevan ilman lämpötila on  $300 \text{ K}$  ja sisäpuolella säilytettävän nestetyypen lämpötila  $77 \text{ K}$ . Ulko- ja sisäpuolen konvektiiviset lämmönsiirtokertoimet ovat kumpikin  $8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Kuinka paksulta rakennetta tulee eristää perliittieristeellä, jonka lämmönjohtavuus on  $0.046 \text{ W/mK}$ , jotta lämpöhäviöt pienenevät viidenteen osaan alkuperäisestä? Kuinka paljon tällöin nestetyyppiä tunnissa kiehuu, kun nestetyypen höyrystymislämpö on  $2 \times 10^5 \text{ J/kg}$  ja tiheys  $804 \text{ kg/m}^3$ ? (Vihje: Lämpöverkkomalli karteesisessa koordinaatistossa...)
6. Ovatko seuraavat väitteet oikein vai väärin? Oikea vastaus tuottaa kukin yhden pisteen, väärästä vastauksesta sakotetaan yhdellä miinuspisteellä. Vastaamatta jättäminen ei tuota pisteitä kumpaankaan suuntaan.
- Ranskalainen insinööri Georges Claude kehitti nesteyttimen, mikä perustui isentrooppiseen kaasun laajenemiseen.
  - Magnetokalorimetrinen ilmiö selittää faasimuutoksen normaaliheliumin ja superheliumin välillä.
  - Karteesisessa koordinaatistossa johtumislämpövastus on suoraan verrannollinen materiaalin lämmönjohtavuuteen.
  - Wiedemann-Franzin lain mukaan materiaalin lämmönjohtavuus on suoraan verrannollinen materiaalin resistiivisyyteen.
  - Tehokkaimpien kryojäähdyttimien jäähdytysteho  $4 \text{ K}$ :ssä on noin  $1\text{-}2 \text{ W}$ .
  - Kirjainlyhenne MLI viittaa kryogeeniseen eristämiseen supereristeiden avulla.