

Oman ohjelmoitavan laskimen käyttö sallittu.

OSA I Vastaa lyhyesti seuraavaan 15:ta kysymykseen.

1. Miten ranskalainen insinööri Georges Claude liittyy kryogeniikan kehitykseen ja historiaan?
2. Miten matemaattisesti ja verbaalisesti määritellään käsite lämpökapasiteetti vakiotilavuudessa?
3. Miksi neonin nesteyttäminen on huomattavasti kalliimpaa heliumin nesteytykseen nähden, vaikka nestemäisen neonin höyrystymislämpötila on paljon korkeampi nesteheliumiin verrattuna?
4. Suprajohtava magneetti on upotettu nesteheliumkylpyyn. Magneetin ulkoiset virtajohtimet valmistetaan joko kuparista tai messingistä, jolloin virtajohtimien kautta siirtyvä lämpökuorma nesteheliumiin muodostuu lämmönjohtumisesta ja virtajohtimien sähkövirran aiheuttamista Joule-häviöistä. Kommentoi ja perustele virtajohtojen materiaalivalintaa, kun kriteerinä on minimoida niiden aiheuttamat lämpöhäviöt.
5. Mitä tarkoitetaan käsitteillä Gibbsin ja Helmholtzin vapaa energia?
6. Mitä rajoitteita liittyy heliumin nesteyttämiseen, mikäli hyödynnetään isentalpista laajenemista?
7. Happea hyödynnetään paljon teräksen valmistuksen yhteydessä. Miksi?
8. Esitä ja kommentoi heliumin faasidiagrammia.
9. Mitä tarkoitetaan jäähdytyksen hyötökertoimella ja mitä tämä suure on vedyn ja heliumin tapauksessa?
10. Minkä tyyppisiä lämmönvaihtimia tämän päivän kryojäähdyttimet hyödyntävät?
11. Kuvaile Gifford-McMahon –tyyppisen kryojäähdyttimen toimintaperiaatetta.
12. Mitä suuruusluokkaa kryojäähdyttimien hyötysuhde tänä päivänä parhaimmillaan on?
13. Suprajohtomagneetin toimintalämpötila on 20 K. Esitä magneetti ja sen kryostaattirakenne, kun järjestelmä hyödyntää 2-vaiheista kryojäähdytintä.
14. Miten lämpösäteily eroaa muista lämmönsiirron mekanismeista? Mitä on ns. supereriste ja millä tavalla se vaikuttaa säteilylämmönsiirtoon?
15. Mitä ymmärretään lämpövastuksen käsitteellä? Minkälainen on karteesisessa koordinaatistossa johtumislämpövastuksen lauseke?

KÄÄNNÄ!

OSA II

1. Todenna ideaalikaasulle osittaisderivaattoja koskeva ns. kiertosääntö.
2. Tarkastellaan vedyn ominaisentalpian differentiaalilauseketta, joka voidaan esittää muodossa

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

missä C_p on vetykaasun ominaislämpö, v ominaistilavuus T lämpötila ja p paine. Määritä kaasun isentalpisessa laajenemisessa Joule-Thomson -kerroin, kun vetyä voidaan pitää ideaalikaasuna. Mitä johtopäätöksiä voi tehdä saamastasi tuloksesta?

3. Nesteheliumiin siirtyy lämpöä johtumalla teräksestä valmistettua sylinterimäistä tukirakennetta pitkin, jota ei jäähdytetä höyrystyvällä heliumkaasulla. Umpinaisen sylinterin poikkipinta-ala on 20 mm^2 ja pituus 200 mm . Mikäli tukiputken puoleenväliin liitetään kryojäähdytin, on ankkurointipisteessä putken lämpötila 70 K . Kuinka paljon edullisemmaksi käyttökustannuksiltaan ratkaisu on verrattuna tilanteeseen, jossa kryojäähdytintä ei käytetä? Teräksen lämmönjohtavuuden integraali lämpötilavälillä $300 \text{ K} \rightarrow 4.2 \text{ K}$ on 3100 W/m ja välillä $70 \text{ K} \rightarrow 4.2 \text{ K}$ 200 W/m . Nesteheliumin höyrystymislämpö on 20.4 J/g ja tiheys 125 kg/m^3 . Kryojäähdyttimen vaatima teho huoneen lämpötilassa on 10 kW , sähkön hinta 0.1 €/kWh ja nesteheliumin hinta 10 €/l .