

**Oman ohjelmoitavan laskimen käyttö sallittu**

OSA I Vastaa lyhyesti seuraaviin 20:een kysymykseen.

1. Miten Herman Oberth ja Werner von Braun liittyvät kryogeniikan kehitykseen ja historiaan?
2. Mitä tilanteita termodynamiikan pääsäännöt koskevat?
3. Miten matemaattisesti ja verbaalisesti määritellään käsite lämpökapasiteetti vakio paineessa?
4. Mitä ymmärretään käsitteellä Gibbsin vapaa energia?
5. Miten jäähdytysmenetelmät, jotka perustuvat kaasun isentalpiseen tai isentrooppiseen laajenemiseen, eroavat toisistaan?
6. Mitä tarkoitetaan kaasun isentalpisen laajenemisen yhteydessä Joule-Thomsonin kertoimella ja siihen liittyvällä inversiokäyrällä?
7. Keskoskaappien happipitoisuutta mitataan usein menetelmällä, joka nojaa hapen ominaisuuteen, mikä ei päde muille kryogeenisille aineille (helium, vety, neon, typpi). Mikä tämä ominaisuus on?
8. Miksi neonin nesteyttäminen on huomattavasti kalliimpaa heliumin nesteytykseen nähden, vaikka nestemäisen neonin höyrystymislämpötila on paljon korkeampi nesteheliumiin verrattuna?
9. Mitä tarkoitetaan trippeli- eli kolmoispisteellä? Mitä suuruusluokkaa tämä on heliumin tapauksessa?
10. Superheliumin erikoispiirteet.
11. Mainitse viisi kryogeniikan erityyppistä sovelluskohdetta.
12. Mitä tarkoitetaan jäähdytyksen laatuluvulla ja mitä tämä suure on typen ja vedyn tapauksessa?
13. Mitä voit sanoa ideaalikaasun jäähtymisestä isentalpisen laajenemisen yhteydessä?
14. Kryojäähdyttimet käyttävät joko rekuperatiivista tai regeneratiivista lämmönvaihdinta. Mikä ero näillä on?
15. Kuvaile pelkistetysti Stirling-kryojäähdyttimen periaatetta.
16. Miten kryojäähdyttimien hyötysuhde määritellään ja mitä suuruusluokkaa se on tämän päivän tehokkaimmissa laitteissa?
17. Mitä ymmärretään magnetokalorisella ilmiöllä?
18. Mitä tarkoitetaan emissiviteetillä ja emissiviteetikertoimella?
19. Mitä on ns. supereriste ja millä tavalla se vaikuttaa säteilylämmönsiirtoon?
20. Miten lämpösäteily eroaa muista lämmönsiirron mekanismeista?

**KÄÄNNÄ!**

## OSA II

Suprajohtavan magneetin virtajohtot (2 kpl) ovat hybridirakenteiset, ts. yläosa on valmistettu kuparista ja alaosa korkean lämpötilan suprajohteesta (HTS, kriittinen lämpötila  $> 100$  K). Yläosan pituus on  $0.3$  m ja poikkipinta-ala  $1.96 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>. Materiaalien liityntäkohtaan on integroitu kryojäähdytin (molemmat virtajohtot hyödyntävät samaa jäähdytintä), joilla HTS-osien yläpää pidetään  $77$  K:n lämpötilassa. Kuparin resistiivisyys ja lämmönjohtavuus lämpötilavälillä  $300$  K –  $77$  K oletetaan vakioiksi,  $\rho = 1.76 \times 10^{-8}$   $\Omega$ m ja  $\lambda = 400$  W/mK. Virtajohtimien HTS osioiden pituudet ovat samat kuin kuparilla, mutta poikkipinta-alat ovat dekadin suuremmat ja lämmönjohtavuus riippuu lämpötilasta lausekkeen

$$\lambda(T) = 3 \cdot 10^{-5} T^2 + 0.1 T - 4 \text{ W/m}$$

mukaisesti.

Virtajohtimien yläosa on huoneen lämpötilassa  $300$  K ja alaosa on nesteheliumissa  $T = 4.2$  K. Magneettiin syötetään virta  $I = 300$  A.

- Mikä on virtajohtimien aiheuttaman lämpökuorman osalta kryojäähdytin vaadittu kompressoriteho huoneen lämpötilassa, kun  $1$  W jäähdystehoä  $77$  K:ssä vaatii kompressoritehoä  $300$  K:ssä  $10$  W?
- Kuinka paljon virtajohtimen vaikutuksesta nesteheliumia vuorokaudessa kiehuu, kun nesteheliumin höyrystymislämpö on  $20.3$  kJ/kg ja tiheys  $125$  kg/m<sup>3</sup>?