

Oman ohjelmoitavan laskimen käyttö sallittu.

1. Kaasu noudattaa yhtälöä $P(v-a) = RT$, missä P on paine, v ominaistilavuus, T lämpötila, R yleinen kaasuvakio ja a on vakio. Määritä isotermisessä prosessissa kaasun entalpian muutos. Tarkastele vastaavaa tehtävän asettelua ideaalikaasun tapauksessa. Lähde liikkeelle entalpian ja entropian välisestä yhteydestä ja valitse riippumattomiksi muuttujiksi paine ja lämpötila.

- 2a) Mitä isentalpista laajenemista karakterisoiva Joule-Thomson kerroin kuvaa? Mitä rajoitteita liittyy heliumin nesteyttämiseen, mikäli hyödynnetään isentalpista laajenemista?
- 2b) 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 perustelee virtajohtojen materiaalivalintaa, kun kriteerinä on minimoida niiden aiheuttamat lämpöhäviöt.

- 3a) Mitä ymmärretään jäähdytyksen laatuluvulla ja hyötykertoimella? Määritä ideaalitapauksessa kyseiset tunnusluvut nestetyypelle, -vedylle ja -heliumille.
- 3b) Esitä heliumin tilapiirros ja määritä heliumin trippelipiste. Kuvaile edelleen heliumiin liittyviä erityispiirteitä muihin kryogeeneihin kaasuihin/nesteisiin nähden.

4. 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 1.96×10^{-5} m². 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, $\rho = 1.76 \times 10^{-8}$ Ω 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

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

mukaisesti.

KÄÄNNÄ!

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 kryojäähdyttimen vaadittu kompressoriteho huoneen lämpötilassa, kun 1 W jäähdytystehoa 77 K:ssä vaatii kompressoritehoa 300 K:ssä 10 W?
- Kuinka paljon virtajohtimen vaikutuksesta nesteheliumia vuorokaudessa kiehuu, kun nesteheliumin höyrystymislämpö on 20.3 kJ/kg ja tiheys 125 kg/m³?

5. Vastaa lyhyesti

- Miksi neonin nesteyttäminen on huomattavasti kalliimpaa heliumin nesteytykseen nähden, vaikka nestemäisen neonin höyrystymislämpötila on paljon korkeampi nesteheliumiin verrattuna?
- Keskoskaappien happipitoisuutta mitataan usein menetelmällä, joka nojaa hapen ominaisuuteen, mikä ei päde muille kryogeenisille aineille (helium, vety, neon, typpi). Mikä tämä ominaisuus on?
- Mikä on keskeinen ero kaasun isentalpisen ja isentropisen laajenemisen välillä?
- Mitä ymmärretään magnetokalorisella ilmiöllä?
- Kryojäähdyttimet käyttävät joko regeneratiivista tai rekuperatiivista lämmönvaihdinta. Mitä eroa näillä on?
- Kuvaile supereristeen rakennetta.

Maxwellin yhtälöt

$$\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_V$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_P$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$$