

- O. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen termodynamiikan luento-osuus saatiin valmiiksi torstaina.
- A. Luentokalvojen luvun 20.X esimerkit.
- B. Kappale 1 massaltaan  $m_1$  on tehty materiaalista, jonka ominaislämpö on  $c_1$ , ja kappale 2 massaltaan  $m_2$  puolestaan materiaalista, jonka ominaislämpö on  $c_2$ . Olkoon kappale 1 alussa lämpötilassa  $T_1$  ja kappale 2 lämpötilassa  $T_2$  siten, että  $T_2 > T_1$ . Oletetaan, että seuraavassa kappaleiden tilavuudenmuutokset voidaan jättää huomiotta ja että kappaleet vaihtavat energiaa vain toistensa eivätkä muun ympäristön kanssa.
- (a) Saatetaan kappaleet vähäksi aikaa kosketuksiin toistensa kanssa siten, että kappaleen 1 lämpötila on sen jälkeen  $T$  ja kappaleen 2 lämpötila  $T'$ . Osoita, että kappaleiden 1 ja 2 muodostaman yhdistetyn systeemin entropianmuutos tämän prosessin aikana on  $\Delta S = m_1 c_1 \ln(T/T_1) + m_2 c_2 \ln(T'/T_2)$ .
- (b) Osoita, että termodynamiikan 1. pääsäännöstä seuraa  $m_1 c_1 (T - T_1) = m_2 c_2 (T_2 - T')$ .
- (c) Osoita, että entropian muutos  $\Delta S$  lämpötilan  $T$  funktiona saa maksimiarvon, kun  $T = T'$ .
- C. Sanallinen päättelytehtävä: Puolen kilon painoinen rautaharkko on aluksi lämpötilassa 400 K.
- (a) Se upotetaan suureen vesisäiliöön, jonka lämpötila on 300 K, ja odotetaan tasapainon asettumista. 2. pääsäännön mukaisesti yhdistetyn järjestelmän (rauta+vesi) entropia kasvaa: entropianmuutos  $\Delta S_a > 0$ .
- (b) Tehdäänkin niin, että harkko upotetaan ensin vesisäiliöön, jonka lämpötila on 350 K, ja siirretään sitten toiseen vesisäiliöön, jonka lämpötila on 300 K siten, että kummassakin vaiheessa odotetaan tasapainon asettumista. *Kysymys*: Onko yhdistetyn järjestelmän (rauta+vesi<sub>1</sub>+vesi<sub>2</sub>) entropian muutos  $\Delta S_b$  tässä tapauksessa yhtäsuuri kuin edellisen kohdan  $\Delta S_a$  ja miksi vastaat siten?
- (c) Entä jos tehdään harkon jäähditys hitaasti hyvin pienin lämpötila-askelin monen vesisäiliön kautta? Huom: Vesisäiliöt ovat kussakin kohdassa hyvin suuria.
- D. Edellisen tehtävän tilanteesta lasku: Laske yhdistettyjen järjestelmien entropian muutokset  $\Delta S_a$  ja  $\Delta S_b$ .
- E. Dieselmoottorin puristussuhde on 15 eli ilma puristetaan siinä 1/15 osaan alkutilavuudestaan, joka olkoon yksi litra. Paine alussa on 1 atm ja lämpötila 300 K.  $C_V$ :lle voit käyttää arvoa 20.8 J/mol K ja lämpökapasiteettien suhteelle arvoa  $\gamma = 1.4$  (kaksiatominen harva kaasu). Laske ensin kaasun loppulämpötila olettaen puristus adiabaattiseksi. Laske sitten kaasuun puristuksen aikana tehty työ.
- F. Piirrä Carnot'n ja Stirlingin kiertojen  $TS$ -diagrammi eli diagrammi, jossa pystyakselina on lämpötila ja vaakakselina on entropia. Totea, että reversiibelissä syklissä siirtyvä lämpö on  $TS$ -diagrammissa syklin sisään jäävä pinta-ala. Miten  $TS$ - ja  $PV$ -diagrammeja voidaan käyttää syklien hyötysuhteen määrittämisessä?
- G. Aiemman vuoden kurssilaisten havainto muovikantisesta pahvisesta kahvimukista: Kokeile miten käyttäytyy juontiaukkoon helposti muodostuva kalvo tukkiessasi sormella kannessa olevan pienemmän reiän. Selityksiä?
- H. Veden sulamiskäyrän kulmakerroin arkisissa olosuhteissa on suunnilleen  $-134$  atm/K. Jää on epätasaista, joten luistinten ja jään kosketuspinta on vain  $5$  mm<sup>2</sup>. Kuinka kylmää jään pitää vähintään olla, jotta se ei ala sulaa 60-kiloisen paikallaan pysyvän luistelijan alla?
- I. Jos aikaa jää, pieni (toivottu) ekskursio teorian puolelle: tulos  $U = \frac{3}{2} N k_B T$  harvalle kaasulle. Luennolla (kalvo 31) osoitettiin, että  $K_{tr} = \frac{3}{2} PV$ , mistä tulos seuraa tilanyhtälön (jota ei johdettu) kautta. Tulos seuraa myös Maxwell-Boltzmann-jakaumasta (jota ei johdettu), josta oli  $\frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T$  (kalvo 40).
- J. Mahdolliset kommentit laskuharjoitustehtävistä.