

---

---

## PHYS-A0120 Termodynamiikka, syksy 2022

### Kotitentti

Palautus yhtenä tiedostona PDF-muodossa viimeistään perjantaina 16.12.

Tiedoston nimi: *SukunimiEtunimi\_kotitentti2022.pdf*

---

---

### Tehtävä 1.

Kuluneen kuuden viikon aikana olemme perehtyneet termodynamiikan perusteisiin ja nyt on loppuyhteenvedon aika esseen muodossa.

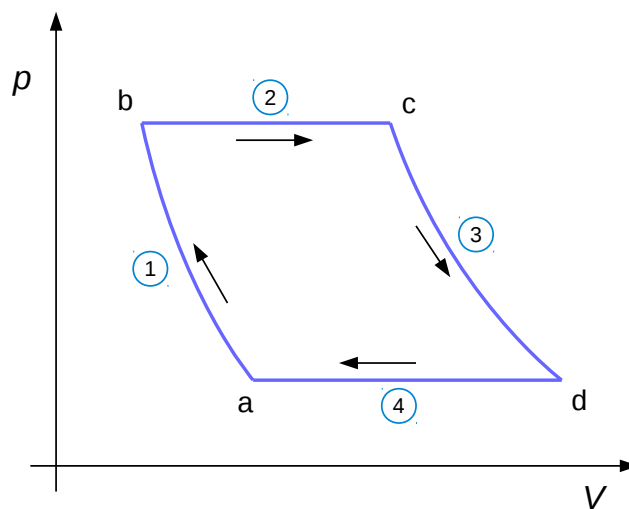
Käy ensin itsekseksi läpi kurssin yleiset osaamistavoitteet ja viikkokohtaiset oppimistavoitteet (nämä löytyvät mm. MyCoursesista). Tarkastele tämän pohjalta termodynamiikan oppimistasi kurssilla. Voit edetä tekstissä kronologisesti, mutta älä kirjoita vain listamaista osaamistavoitteiden käsittelyä. Oma pohdinta siitä, mikä oli lähtötilanteesi, mitä opit kurssilla ja toisaalta mitkä asiat jäivät vielä epäselviksi (sekä miten mahdollisesti aiota työstää avoimiksi jääneitä asioita) ovat mitä tässä haetaan. Hienosti sanottuna tässä tehtävässä on kyse siis *reflektiosta*.

Ohjeellinen pituus: 2,5 – 3 sivua normaalilla 12 pisteen fontilla.

### Tehtävä 2.

Tarkastellaan kuvassa alla esitettyä kiertoprosessia lämpövoimakoneelle, jonka työainetta approksimoidaan ideaalikaasulla. Kiertoprosessi koostuu työaineen adiabaattisesta puristuksesta (1), jota seuraa isobaarinen lämmitys (todellisuudessa työaineen palamisesta johtuva) (2). Tämän jälkeen työaine laajenee adiabaattisesti (3), ja syklin päättää isobaarinen jäähtyminen (4).

Määritä tämän kiertoprosessin hyötysuhde ilmaistuna paineiden  $p_a$  ja  $p_b$  suhteen avulla.



### Tehtävä 3.

Tarkastellaan argon- ja typpikaasujen sekoitusta lämpöeristetyssä säiliössä, jonka tilavuus on 4 litraa. Olkoon argonin ainemäärä  $n_1 = 0,1$  mol ja typen  $n_2 = 0,2$  mol, ja kaasuseoksen lämpötila  $T = 293$  K. Oletetaan, että voimme kuvata kumpaakin kaasua ideaalikaasuna.

a) Kaasuseoksen tilavuutta muutetaan sitten kitkattomasti liikkuvan männän avulla hyvin hitaasti. Osoita, että seoksen lämpötilan ja paineen muutosta voidaan tällöin kuvata jonkin efektiivisen adiabaattisen kertoimen  $\gamma_{\text{ef}}$  avulla. Mikä tämän kertoimen kaava on?

b) Määritä kaasuseoksen lämpötilan ja paineen muutos, kun kaasua puristetaan siten, että sen tilavuus pienenee määrällä 10% alkuperäisestä arvosta.

### Tehtävä 4.

a) Tietyn termodynaamisen systeemin molaarinen Gibbsin funktio on

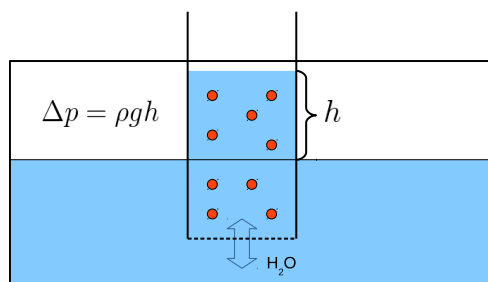
$$G(p, T) = RT \ln \left[ \frac{ap}{(RT)^{5/2}} \right],$$

jossa  $a$  on vakio. Johda tämän systeemin ominaislämpökapasiteetti vakiopaineessa,  $c_p$ .

b) Johda kaava yksiatomisen ideaalikaasun Helmholtzin funktiolle  $F(n, V, T)$ .

c) Tarkastellaan sitten säiliötä, jonka ulkoseivät ovat lämpöä johtavia, ja joka on upotettuna lämpövarantoon ( $T = 0^\circ\text{C}$ ). Säiliö on jaettu kahteen osaan adiabaattisella hiukkasia läpäisemättömällä männällä. Kummassakin säiliön osatilavuudessa (kammiossa) on yksi mooli yksiatomista ideaalikaasua. Olkoon näiden kammioiden tilavuudet alkutilanteessa  $V_{1,i} = 10$  l ja  $V_{2,i} = 1$  l.

Säiliössä oleva mäntä liikkuu sitten palautuvasti siten, että kammioiden lopputilavuudet ovat  $V_{1,f} = 6$  l ja  $V_{2,f} = 5$  l. Kuinka suuren työn systeemi tekee tai systeemiin tehdään tässä prosessissa?



### Tehtävä 5.

Tarkastellaan systeemiä, jossa avoimeen vesiastiaan on upotettu putki, joka on vedenpuoleisesta päästään suljettu puoliläpäisevällä kalvolla, ts. rajapinnalla, joka päästää läpi vesimolekyylejä, mutta ei niitä suurempia molekyylejä (kts. kuva yllä). Putken sisällä olevaan veteen lisätään ainemäärä  $n_s$  suurikokoisia molekyylejä (punaiset pallot kuvassa), jolloin huomataan, että putkessa olevan veden pinta nousee korkeammalle kuin muun astian vedenpinta. Putken sisältämän veden ja astian muun veden välille on kehittynyt paine-ero  $\Delta p$ , joka voidaan mitata vedenpintojen korkeuseron  $h$  mukaisen hydrostaattisen paine-eron avulla,  $\Delta p = \rho g h$ . Määritetään sitten termodynaaminen lauseke synnytyelle paine-erolle  $\Delta p$  ja sen riippuvuudelle liuenneiden molekyylin mooliosuudesta putkessa,  $x_s = n_s / (n_{\text{vesi}} + n_s)$ .

1. Oletetaan, että voimme käsitellä veden ja liuenneiden molekyylin liuosta niin sanottuna *ideaalisena liuoksena*, jonka määrittelee kemiallisen potentiaalilauseke kullekin liuoksen komponentille  $i$ :

$$\mu_i(p, T, x_i) = \mu_i^\circ(p, T) + RT \ln x_i,$$

jossa  $x_i$  on kyseisen komponentin mooliosuus ja  $\mu_i^\circ$  sen puhtaan faasin kemiallinen potentiaali (jossa siis  $x_i = 1$ ).

2. Muodosta ensin vedelle termodynaamisen tasapainon ehto puoliläpäisevän kalvon eri puolilla olevien alueiden suhteen kemiallisen potentiaalilauseke avulla.
3. Määritä puhtaan veden kemiallisen potentiaalilauseke,  $\mu^\circ$ , riippuvuus paine-erosta  $\Delta p$  Gibbssin ja Duhemin yhtälön avulla, kun oletetaan, että liuoksen lämpötila on vakio. (Vinkki: oletetaan vesi kokoonpuristumattomaksi nesteeksi.)
4. Ratkaise kohdan (2) tasapainoehdosta paine-ero  $\Delta p$  ja muuta se vielä sopivilla approksimaatiolla liuoksen aineen molaarisen konsentraation  $[s] = n_s/V$  funktioksi (oletetaan, että putken liuoksen mooliosuuksille  $x_s \ll x_{\text{vesi}}$ ).

Vertaa lopuksi johtamasi kaavan ennusteita paine-erolle  $\Delta p$  kokeellisesti määritettyihin arvoihin sakkaroosille (kts. taulukko alla;  $T = 273 \text{ K}$ ). Huom: sakkaroosin konsentraatiot on annettu yksikössä  $1 \text{ M} = 1 \text{ mol/litra}$ , jossa tilavuus viittaa kyseisen liuoksen kokonaistilavuuteen (onko sakkaroosin osuus tästä merkittävä?)

$[s]$ (M)	0,0292	0,0584	0,1315	0,2739	0,5328	0,8766
$\Delta p$ (atm)	0,65	1,27	2,91	6,23	14,21	26,80