

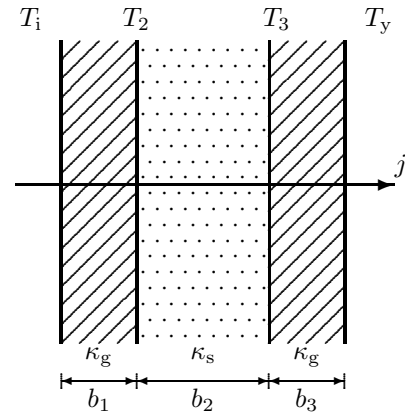
## Øving 12

Veiledning: Ons 17. nov. 14:15-16.

Innlevering: Fredag 20. nov. kl. 12:00

**Oppgave 1. Husisolasjon**

Vi tar for oss en typisk husvegg med  $b_1 = 2,0$  cm innerpanel og  $b_3 = 2,5$  cm ytterpanel, begge av gran med varmeledningsevne  $\kappa_g = 0,14$  W/(m·K). Mellom ytter- og innerpanel er det plassert steinullmatter med tykkelse  $b_2 = 10,0$  cm og med varmeledningsevne  $\kappa_s = 0,047$  W/(m·K). Anta at temperaturen i lufta mot innsiden av veggene er  $T_i = 22$  °C mens vi for utelufta velger  $T_y = +5,0$  °C. Varmeovergangstallet mellom inneluft og innerpanel er  $\alpha_{inne} = 7,5$  W/(m<sup>2</sup>K) og tilsvarende mellom uteluft og ytterpanel  $\alpha_{ute} = 25$  W/(m<sup>2</sup>K)



a. Noen temperaturer er gitt i figuren ovenfor. Hvilke flere temperaturer trenger du for å beskrive varmestrømmen gjennom den lagdelte veggene med de oppgitte data?

b. Sett opp uttrykk for varmestrømtettheten  $j$  og finn en numerisk verdi ut fra tallene ovenfor.

c. Beregn også temperaturen ( $T_2$ ) på den siden av innerpanelet som vender mot steinullen.

d. For å vurdere betydningen av isolasjonen i veggene for husets totale energiregnskap, la oss anta at det totale nettoareal av ytterveggene i en enebolig (fraregnet vinduer og dører) er 100 m<sup>2</sup>. Dersom vi regner med at oppvarming trengs 200 døgn per år, og at gjennomsnittlig utetemperatur i denne fyringssesongen er  $T_y = +5,0$  °C, hva blir da det gjennomsnittlige energitapet per døgn (regnet i kWh) ut av veggene?

EKSTRA: Hvor mange kWh per år (omtrentlig) en vil spare ved å øke tykkelsen av steinullmattene fra 10 cm til 15 cm? – Og videre fra 15 cm til 20 cm?

**Oppgave 2. Indre energi avhengig av volumet for reell gass.**

Vi har påpekt at indre energi  $U$  for ideell gass ikke er avhengig av volum, kun temperatur; slik at en adiabatisk, spontan, fri ekspansjon gir ingen temperaturendring. James Joule forsøkte i 1843 å måle temperaturendringer ved fri, adiabatisk ekspansjon av luft, og fant innenfor målenøyaktigheten ingen endring. Dette bekrefter teorien at luft er ideell gass. Men med moderne utstyr har man vist at alle kjente gasser kjøles i en slik prosess, kjølingen er gitt ved Joule-koeffisienten,  $\mu_J = \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_U$ . Fra ideell-gasslovene kan det vises at for ideell gass er  $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_U = 0$ .

For å forklare avkjølingen må ideell-gasslikningen modifieres. van der Waals (vdW) tilstandslikning inkluderer tiltrekkende kraft mellom molekyler når de er svært nærme, slik at det må gjøres indre arbeid for å ekspandere gassen. Denne krafta manifesterer seg ved en korreksjon til trykket  $p$  i tilstandslikningen og at indre energi vil være avhengig av volumet gjennom en konstant  $a$ . vdW tar også hensyn til gassmolekylenes egenvolum,  $nb$ , men får ikke betydning i denne oppgaven. Ideell gass og vdW-gass har følgende egenskaper:

$$\begin{aligned} \text{ideell gass:} \quad pV &= nRT & U &= U_0 + C_V \cdot T, \\ \text{vdW:} \quad \left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) &= nRT & U &= U_0 + C_V \cdot T - \frac{an^2}{V}. \end{aligned}$$

a. Forklar hvorfor indeksen  $U$  inngår i definisjonen av Joule-koeffisienten.

Det er gjort et slikt såkalt Joule-eksperiment på He-gass. Ett kmol ( $10^3$  mol) av gassen er kraftig komprimert til  $V_1 = 0,12$  m<sup>3</sup> og temperaturen stabilisert til  $T_1 = 20$  °C. En ventil åpnes brått slik at gassen ekspanderer adiabatisk til en stor tom tank og sluttrykket blir  $p_2 = 1,0$  atm. Temperaturendringen ble målt til  $-2,5$  K.

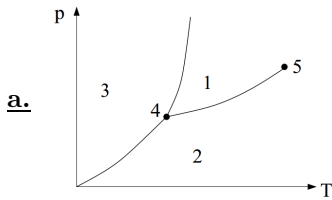
b. Anta at heliumgassen følger van der Waals tilstandslikning og sjekk om teoretisk beregnet temperaturfall i gassen under prosessen stemmer med det observerte.

c. Hva vil temperaturfallet bli for luft i samme eksperimentet?

$C_V$  OG VDW-KONSTANTER FOR HELIUMGASS:  $C_V = 1,506 nR$ ,  $a = 3,44 \cdot 10^{-3}$  J m<sup>3</sup> mol<sup>-2</sup>;  $b = 2,34 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/mol.

$C_V$  OG VDW-KONSTANTER FOR LUFT:  $C_V = 2,5 nR$ ,  $a = 137 \cdot 10^{-3}$  J m<sup>3</sup> mol<sup>-2</sup>  $b = 3,67 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/mol.

### Oppgave 3. Flervalgsoppgaver.



Figuren viser et fasediagram i  $(p, T)$ -planet for et reint stoff. De ulike fasene er angitt (1, 2, 3), sammen med spesielle punkter (4, 5) på koeksistenslinjene. Hvilket svaralternativ angir riktige faser, og punkter ved koeksistens?

- A) 1 = fast stoff, 2 = væske, 3 = gass, 4 = trippelpunkt, 5 = kritisk punkt.
- B) 3 = fast stoff, 1 = væske, 2 = gass, 4 = trippelpunkt, 5 = kritisk punkt.
- C) 3 = fast stoff, 2 = væske, 1 = gass, 4 = trippelpunkt, 5 = kritisk punkt.
- D) 2 = fast stoff, 3 = væske, 1 = gass, 5 = trippelpunkt, 4 = kritisk punkt.
- E) 1 = fast stoff, 3 = væske, 2 = gass, 5 = trippelpunkt, 4 = kritisk punkt.

**b.** Gitt to sylindere med gass som er like unntatt at den ene inneholder oksygen  $O_2$  og den andre helium He. Begge sylindrene inneholder opprinnelig samme volum gass ved  $0^\circ C$  og 1 atm og er lukket med et bevegelig stempel ved den ene enden. Så blir begge gassene komprimert adiabatisk til  $1/3$  av deres opprinnelige volum. Hvilken gass vil få den største temperaturøkningen  $\Delta T$  og hvilken vil få den største trykkøkningen  $\Delta p$ ?

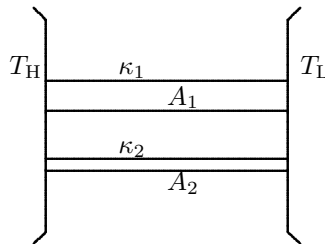
- A)  $O_2$  største  $\Delta T$  og  $O_2$  største  $\Delta p$ .
- B) He største  $\Delta T$  og He største  $\Delta p$ .
- C) He største  $\Delta T$  og lik  $\Delta p$  for gassene.
- D)  $O_2$  største  $\Delta T$  og lik  $\Delta p$  for gassene.
- E) He største  $\Delta T$  og  $O_2$  største  $\Delta p$ .

**c.** En ideell (Carnot) varmepumpe brukes til å pumpe varme fra utvendig luft med temperatur  $-5^\circ C$  til varmluftforsyningen inne i huset, som er på  $+35^\circ C$ . Hvor mye arbeid bruker pumpa for å forsyne huset med 1,5 kJ varme?

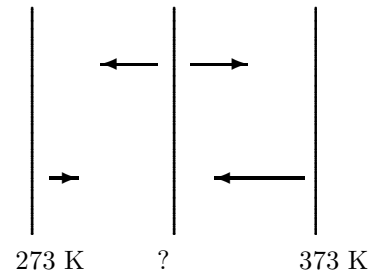
- A) 0,165 kJ
- B) 0,195 kJ
- C) 0,205 kJ
- D) 0,212 kJ
- E) 0,224 kJ

**d.** Figuren viser to varmereservoar med temperaturer  $T_H$  og  $T_L$  som er forbundet med to metallsylindre med samme lengde  $\ell$  men ulikt tverrsnitt  $A_i$  og varmeledningsevne  $\kappa_i$ . Varmeresistansen for hvert materiale er definert  $R_i = \frac{\ell_i}{A_i \kappa_i}$ . Hva er den ekvivalente varmeresistansen  $R$  mellom varmereservoarene?

- A)  $R_1 + R_2$
- B)  $\frac{R_1 + R_2}{2}$
- C)  $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
- D)  $\frac{A_1 R_1 + A_2 R_2}{A_1 + A_2}$
- E)  $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$



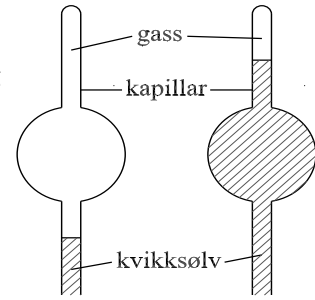
**e.** To (tilnærmet uendelig) store parallelle metallplater holdes på fast temperatur hhv. 273 K og 373 K. (Disse platene kan med andre ord betraktes som to varmereservoarer.) En tredje metallplate settes inn mellom disse, som vist i figuren. Alle platene kan betraktes som perfekt svarte legemer som emitterer elektromagnetisk stråling ("varmestråling") i begge retninger. Det er vakuum i rommet mellom platene. Når stasjonære (dvs. tidsuavhengige) forhold er etablert, hva er temperaturen på den midterste plata?



- A) 283 K
- B) 323 K
- C) 334 K
- D) 363 K
- E) 519 K

**Oppgave 4. Isoterm kompresjon.**

En gass er innelukket i en glassbeholder med volum  $250 \text{ cm}^3$  (se figuren). Glassbeholderen er på toppen forlenget med et kapillar med lengde  $10 \text{ cm}$  og diameter  $1,00 \text{ mm}$ . Kvikksølv presses opp i beholderen fra et kapillar nedenfra og gassen komprimeres slik at den får en lengde på  $1,00 \text{ cm}$  i kapillaret (se fig.). Prosessen foregår isotermt ved  $20^\circ\text{C}$  og starttrykket er  $1,00 \cdot 10^{-3} \text{ mmHg}$ .



- Hva er sluttrykket (i mmHg) i gassen når gassen er nitrogen?
- Hva er sluttrykket (i mmHg) i gassen når gassen er vanndamp?
- Hvor mye vanndamp kondenseres i tilfelle **b**?
- Forklar og begrunn eventuelle antagelser du må gjøre i hvert punkt.

OPPGITT: Vanndamptrykk (metningstrykk) ved  $20^\circ\text{C}$  er  $17,5 \text{ mmHg}$ , der  $760 \text{ mmHg} = 1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kN/m}^2$ .

---

Utvalgte fasitsvar:

1b)  $6,48 \text{ W/m}^2$ ; 1c)  $20,2^\circ\text{C}$ ; 1d)  $3110 \text{ kWh/år}$ .

2b)  $-2,3 \text{ K}$ ; 2c)  $-55 \text{ K}$ .

4c)  $0,11 \mu\text{g}$ ;