

# TFY4115 Fysikk (MTELSYS/MTTK/MTNANO)

## Øving 12

Veiledning: Man 21. nov. 14:15-16 og ons 23. nov. 10:15-12.

Innlevering: Torsdag 24. nov. kl. 12:30

### Oppgave 1. Husisolasjon

En husvegg har  $b_1 = 2,0$  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 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 veggen er  $T_1 = 22^\circ\text{C}$  og utelufta  $T_y = +5,0^\circ\text{C}$ . Varmeovergangstallet mellom inneluft og innerpanel er  $\alpha_{\text{inne}} = 7,5$  W/(m<sup>2</sup>K) og tilsvarende mellom uteluft og ytterpanel  $\alpha_{\text{ute}} = 25$  W/(m<sup>2</sup>K).

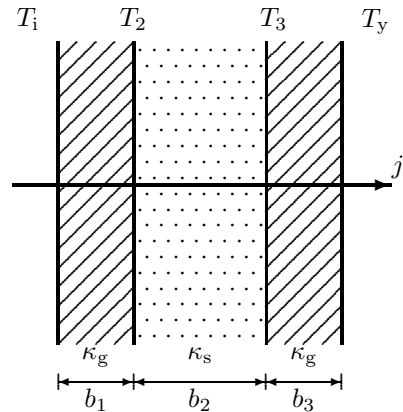
a. Noen temperaturer er gitt i figuren ovenfor. Hvilke flere temperaturer trenger du for å beskrive varmestrømmen gjennom alle lag når data er som oppgitt?

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  $T_y = +5,0^\circ\text{C}$ , hva blir da det årlige energitapet ut av veggene, regnet i kWh?

EKSTRA: e. 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 i forelesning påpekt at indre energi  $U$  for ideell gass ikke er avhengig av volum, kun temperatur. Det betyr at en spontan, adiabatisk ( $Q = 0$ ), fri ekspansjon ( $W = 0$ ) av en ideell gass gir ingen temperaturendring fordi i denne prosessen er  $\Delta U = Q - W = 0$  og ingen endring i  $U$  gir null temperaturendring. James Joule forsøkte i 1843 å måle temperaturendringer i en slik prosess for luft og fant innenfor målenøyaktigheten ingen endring. Men med moderne utstyr har man vist at alle kjente gasser kjøles i en slik prosess og kjølingen er gitt ved Joule-koeffisienten,  $\mu_J = \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_U$ . Indeksen  $U$  markerer at prosessen er ved konstant  $U$ . Ideell-gasslovene gir at  $\mu_J = 0$  for ideell gass.

For å forklare avkjølingen må ideell-gasslikningen modifiseres. 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 gassmolekyleneles egenvolum,  $nb$ , men dette får ikke betydning i denne oppgaven. Ideell gass og vdW-gass har følgende egenskaper:

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

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  $T_1 = 20^\circ\text{C}$ . 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.

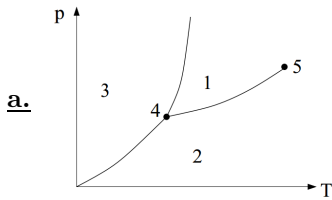
a. Anta at heliumgassen følger van der Waals tilstandslikning og sjekk om teoretisk beregnet temperaturfall i gassen under prosessen stemmer med det observerte.

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

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

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

### 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  $\Delta p$ ?

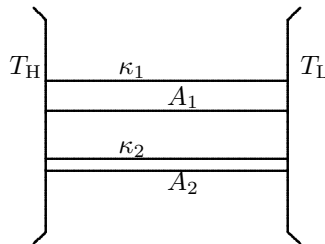
- A)  $O_2$  største  $\Delta T$  og  $O_2$  største  $\Delta p$ .
- B) He største  $\Delta T$  og He største  $\Delta p$ .
- C) He største  $\Delta T$  og lik  $\Delta p$  for gassene.
- D)  $O_2$  største  $\Delta T$  og lik  $\Delta p$  for gassene.
- E) He største  $\Delta T$  og  $O_2$  største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

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?

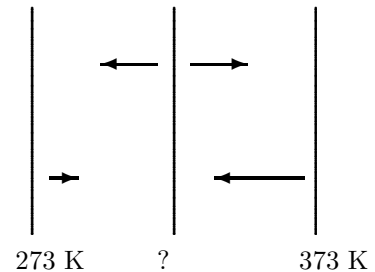
- A) 0,165 kJ
- B) 0,195 kJ
- C) 0,205 kJ
- D) 0,212 kJ
- E) 0,224 kJ

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  $R_i = \frac{\ell}{A_i \kappa_i}$ . 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.) Ei 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?

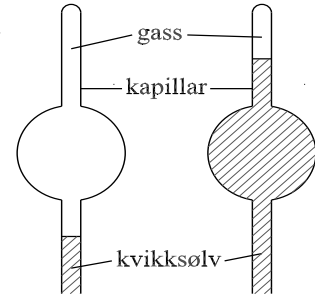


- A) 283 K
- B) 323 K
- C) 334 K
- D) 363 K
- E) 519 K

EKSTRAOPPGAVE:

**Oppgave 4. Isoterm kompresjon uten og med kondensasjon.**

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  $p_0 = 0,20 \text{ N/m}^2 = 0,20 \text{ Pa}$ .



- Hva er sluttrykket (i hPa) i gassen når gassen er nitrogen?
- Hva er sluttrykket (i hPa) 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 (damptrykk i likevekt med vann, også kalt metningstrykk) ved  $20^\circ\text{C}$  er  $23,3 \text{ hPa}$ .  
Vann har molvekt  $18 \text{ g/mol}$ .

---

Utvalgte fasitsvar:

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

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

4a)  $63,7 \text{ kPa}$ ; 4c)  $0,23 \mu\text{g}$ ;