

Øving 12

Veiledning: 14.-16. nov.

Gruppeinndelingen finner du på emnets nettside.

Innlevering: Fredag 17. nov. kl. 12:00

Lever øvinger i bokser utenfor R4 eller i epost til studass.

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 veggens er $T_i = 22^\circ\text{C}$ og utelufta $T_y = +5,0^\circ\text{C}$. Varmeovergangstallet mellom inneluft og innerpanel er $\alpha_{\text{inne}} = 7,5$ W/(m²K) og tilsvarende mellom uteluft og ytterpanel $\alpha_{\text{ute}} = 25$ W/(m²K).

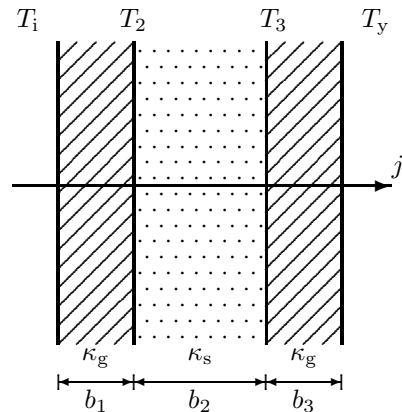
a. Noen temperaturer er gitt i figuren ovenfor. Hvilke flere temperaturer trenger du for å beskrive varmestrømmen gjennom alle lag når data er som oppgitt?

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^2 . 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 tiltrekkelige 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 gassmolekylens egenvolum, nb , men dette får ikke betydning i denne oppgaven. Ideell gass og vdW-gass har følgende egenskaper:

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

Det er gjort et slikt såkalt Joule-eksperiment på He-gass. Ett kmol (10^3 mol) av gassen er kraftig komprimert til $V_1 = 0,12\text{ m}^3$ 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.

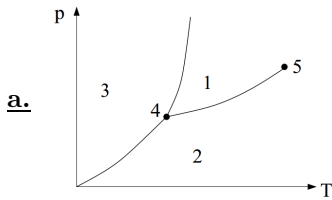
a. Anta at heliumgassen følger van der Waals tilstandslikning og sjekk om teoretisk beregnet temperaturfall i gassen under prosessen stemmer med det observerte.

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

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

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

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 ΔT og hvilken vil få den største trykkøkningen Δp ?

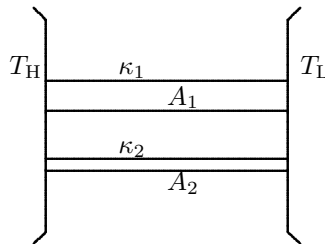
- A) O_2 største ΔT og O_2 største Δp .
- B) He største ΔT og He største Δp .
- C) He største ΔT og lik Δp for gassene.
- D) O_2 største ΔT og lik Δp for gassene.
- E) He største ΔT og O_2 største Δp .

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?

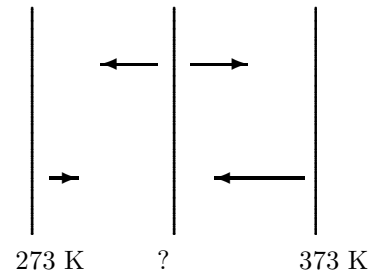
- A) 0,165 kJ
- B) 0,195 kJ
- C) 0,205 kJ
- D) 0,212 kJ
- E) 0,224 kJ

d. Figuren viser to varmereservoar med temperaturer T_H og T_L som er forbundet med to metallsylindre med samme lengde ℓ men ulikt tverrsnitt A_i og varmeledningsevne κ_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.) 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?

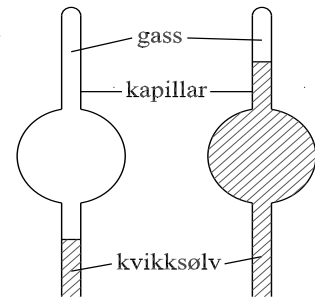


- A) 283 K
- B) 323 K
- C) 334 K
- D) 363 K
- E) 519 K

EKSTRAOPPGAVE:

Oppgave 4. Isoterm kompresjon uten og med kondensasjon.

En gass er innelukket i en glassbeholder med volum 250 cm^3 (se figuren). Glassbeholderen er på toppen forlenget med et kapillar med lengde 10 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°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°C er $23,3 \text{ hPa}$. Vann har molvekt 18 g/mol .

Utvalgte fasitsvar:

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

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

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