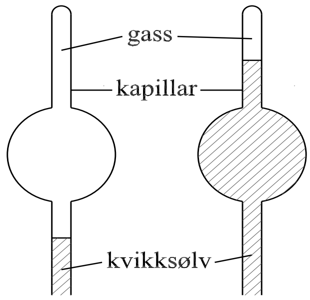
TFY4115 Fysikk (MTEL/MTTK/MTNANO)
Øving 12

Veiledning: Man 17. nov. og ons 19. nov.
Innlevering: Torsdag 20. nov. kl. 12:00

Gruppeinndelingen finner du på emnets nettside.
Lever øvinger i bokser utenfor R1.

Oppgave 1. Isoterm kompresjon.



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 mm. Kvikksølv presses opp i beholderen fra et kapillar nedenfra og gassen komprimeres slik at den får en lengde på 1,00 cm i kapillaret (se fig.). Prosessen foregår isotermt ved 20°C og starttrykket er $1,00 \cdot 10^{-3}$ mmHg.

a. Hva er sluttrykket (i mmHg) i gassen når gassen er nitrogen?

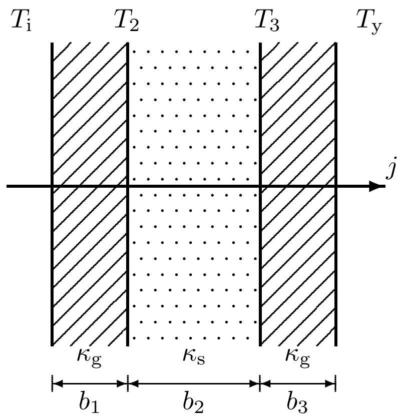
b. Hva er sluttrykket (i mmHg) i gassen når gassen er vanndamp?

c. Hvor mye vanndamp kondenseres i tilfelle **b**?

d. Forklar og begrunn eventuelle antagelser du må gjøre i hvert punkt.

OPPGITT: Vanndamptrykk (metningstrykk) ved 20°C er 17,5 mmHg, der 760 mmHg = 1 atm = 101,3 kN/m^2.

Oppgave 2. 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 $\kappa_g = 0,14\,\mathrm{W/(m \cdot K)}$. Mellom ytter- og innerpanel er det plassert steinullmatter med tykkelse $b_2 = 10,0$ cm og med varmeledningsevne $\kappa_s = 0,047\,\mathrm{W/(m \cdot K)}$. Anta at temperaturen i lufta mot innsiden av veggen er $T_i = 22\,°\mathrm{C}$ mens vi for utelufta velger $T_y = +5,0\,°\mathrm{C}$. Varmeovergangstallet mellom inneluft og innerpanel er $\alpha_{\text{inne}} = 7,5\,\mathrm{W/(m^2K)}$ og tilsvarende mellom uteluft og ytterpanel $\alpha_{\text{ute}} = 25\,\mathrm{W/(m^2K)}$

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

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

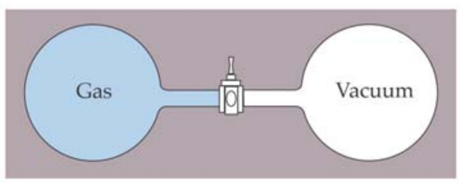
c. Beregn også temperaturen (T_2) på den siden av innerpanelet som vender mot steinullen.

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^2. Dersom vi regner med at oppvarming trengs 200 døgn per år, og at gjennomsnittlig utetemperatur i denne fyringssesongen er $T_y = +5,0\,°\mathrm{C}$, hva blir da det gjennomsnittlige energitapet per døgn (regnet i kWh) ut av veggene?

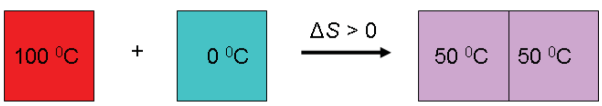
Ekstra: Hvor mange kWh per år (omtrentlig) en vil spare ved å øke tykkelsen av steinullmattene fra 10 cm til 15 cm? – Og videre fra 15 cm til 20 cm?

Oppgave 3. Irreversible prosesser: Kan sløseriet unngås?

I forelesningene så vi på to eksempler på irreversible prosesser. I starttilstandene var delsystemer i intern likevekt, men ikke i likevekt med hverandre. Sluttilstandene representerte fullstendig likevekt. De to eksemplene var:



(i) Spontan ekspansjon av en ideell gass inn i et evakuert område, slik at gassens volum øker fra V_0 til $2V_0$.



(ii) Temperaturutjevning mellom to metallklosser med samme varmekapasitet C, fra starttemperaturene T_2 og T_1 til en felles temperatur T_{irr}.

I begge eksemplene er systemet fullstendig varmeisolert fra omgivelsene.

I de irreversible prosessene øker entropien S. Det ble i forelesningene vist at ved å erstatte prosess (i) med en isoterm reversibel ekspansjon, beregnes entropiøkningen til $\Delta S = nR\ln 2$. I denne erstatningsprosessen gjør gassen et arbeid mot ytre lufttrykk p, og for å holde konstant temperatur må varme Q tilføres fra et reservoar, slik at reservoarets entropi avtar. Den totale entropiendringen (gass + omgivelser) er lik null. Prosessen kan reserveres ved å påføre arbeidet på gassen ved kompresjon. Den *irreversible* adiabatiske utvidelsen har samme ΔS, men her gir ikke omgivelsene fra seg noe entropi og $\Delta S_{\text{tot}} = nR\ln 2$ og $W = 0$.

a. Ved denne gitte reversible prosessen får vi trekt ut maksimalt arbeid W av gassen. Beregn dette arbeidet.

For den spontane prosessen (ii) blir sluttemperaturen $T_{\text{irr}} = \frac{1}{2}(T_1+T_2)$. Den mest effektive reversible erstatningen av temperaturutjamningen (ikke vist i forelesning) er å kjøre en Carnotprosess mellom klossene, slik at Carnotmaskinen heile tida tapper ut det maksimale arbeid underveis mellom varm kloss (T_2) og kald kloss (T_1) der $T_2(t)$ og $T_1(t)$ endres med tida t mot en felles sluttemperatur T_{rev}.

b. Forklar at en reversibel prosess også her innebærer at $\Delta S = 0$, og bruk dette til å bestemme den tilsvarende sluttemperaturen T_{rev}. Hva blir det maksimale arbeidet i dette tilfellet?

Oppgave 4. 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 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 gassmolekylenes egenvolum, nb, men får ikke betydning i denne oppgaven. Ideell gass og vdW-gass har følgende egenskaper:

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

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 $V_1 = 0,12\,\text{m}^3$ og temperaturen stabilisert til $T_1 = 20\,°\text{C}$. 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.

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?

OPPGITT C_V OG VDW-KONSTANTER:
HELIUMGASS: $C_V = 1,506\,nR$, $a = 3,44 \cdot 10^{-3}\,\text{J}\,\text{m}^3\,\text{mol}^{-2}$; $b = 2,34 \cdot 10^{-5}\,\text{m}^3/\text{mol}$.
LUFT: $C_V = 2,5\,nR$, $a = 137 \cdot 10^{-3}\,\text{J}\,\text{m}^3\,\text{mol}^{-2}$ $b = 3,67 \cdot 10^{-5}\,\text{m}^3/\text{mol}$.

Utvalgte fasitsvar: 1c) 0,11 μg; 2b) 6,48 W/m^2; 2c) $20,2\,°\text{C}$; 2d) 3110 kWh/år.
3a) $nRT\ln 2$; 3b) $\sqrt{T_1T_2}$, $C\left(\sqrt{T_1} - \sqrt{T_2}\right)^2$.
4b) -2,3 K; 4c) -55 K.