Institutt for fysikk, NTNU
Faglig kontakt under eksamen:
Professor Johan S. Høye
Tlf. 93654
Sensurfrist: 12. juni.

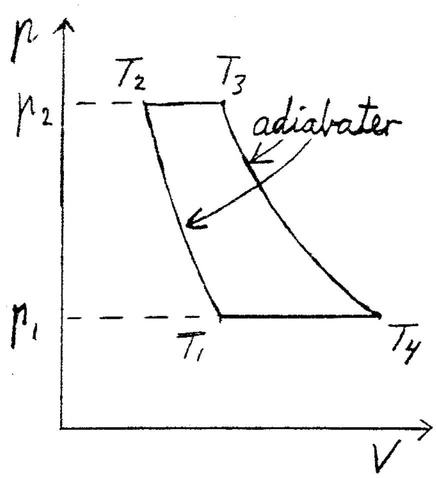
Eksamen i fag TFY4165 og FY1005 Termisk fysikk

Mandag 22. mai 2006
Kl. 09.00 - 13.00

Tillatte hjelpemidler: Godkjent lommekalkulator
Rottmann: Mathematisk Formelsamling

Oppgave 1

a)



Et mol av en ideell gass gjennomløper en reversibel kretsprosess. Som angitt på figuren blir gassen komprimert adiabatisk fra temperaturen T_1 og trykket p_1 til temperaturen T_2. Deretter blir den varmet opp ved konstant trykk p_2 til temperaturen T_3. Så ekspanderer den adiabatisk til temperaturen T_4. Til slutt avkjøles gassen ved konstant trykk p_1 til temperaturen igjen er T_1. Gassen (et mol) har spesifikk varme ved konstant trykk C_p som er konstant. Anta at størrelsene p_1, T_1, T_2 og T_3 anses kjent. Bestem trykket p_2 og temperaturen T_4. [Oppgitte uttrykk: Se neste side.]

b) Beregn virkningsgraden $\eta = W/Q_2$ for prosessen ovenfor der W er utført arbeid og Q_2 er tilført varme. [Hint: Det er enklest å beregne W via tilført og avgitt varme.]

c) Ved kretsprosessen under punkt a) har omgivelsene trykket p_1 og temperaturen T_1. Gassen avkjøles da fra temperaturen T_4 til temperaturen T_1 ved at varme overføres til omgivelsene. Under denne prosessen har gassen en varierende temperatur $T \geq T_1$. Denne temperaturdifferansen kan utnyttes til å gjøre et nyttbart arbeid. Hva blir maksimalt arbeid W_{max} som kan utnyttes ekstra når gassen under punkt a) avkjøles en gang mellom temperaturene T_4 og T_1? [Hint: Benytt det oppgitte uttrykket for maksimalt nyttbart arbeid.]

Oppgitt: $pV = RT$, $pV^\gamma = \text{konst}$, $\gamma = C_p/C_V$, $C_p = C_V + R$,
$W_{max} = T_0\Delta S - \Delta U - p_0\Delta V$ (eksergi eller maksimalt arbeid),
$S = C_V \ln T + R \ln V + \text{konst}$ (entropi for ideell gass).

Oppgave 2

a) Hva er likevektsbetingelsene på temperatur, trykk og kjemiske potensial for et system i termisk likevekt?

Ved samtidig likevekt eller koeksistens mellom væskefase og dampfase for et rent stoff gjelder Clausius-Clapeyrons likning

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_g - V_v)}$$

der L er fordampingsvarmen, V_g er volum i dampfase, V_v er volum i veskefase, p er trykket og T er temperaturen. Utled denne likningen. [Hint: Benytt at Gibbs fri energi eller det kjemiske potensialet er uendret ved faseovergangen, og betrakt endring av trykk og temperatur i begge fasene.]

b) Ved å anta at fordampingsvarmen L er konstant vil en få en brukbar tilnærmelse til damptrykkurven. For å få en mer nøyaktig damptrykkurve kan en anta at L varierer noe med temperaturen. Anta derfor at damptrykket er gitt ved

$$p = K\frac{1}{T^\alpha}\exp\left(-\frac{L_1 + \alpha RT_1}{RT}\right)$$

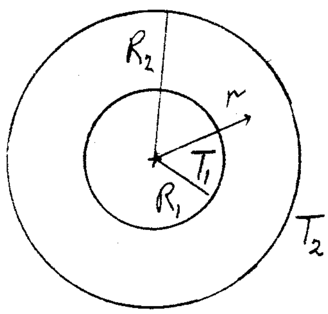
der L_1, α, T_1 og K er konstanter. Hvilken fordampingsvarme pr. mol L gir dette når det kan antas at væskevolumet V_v kan neglisеres i forhold til dampvolumet V_g og at dampen kan betraktes som en ideell gass? [Hint: Det kan forenkle litt å betrakte $\ln p$.]

c) Damptrykket for vann ved 0^o C (=273 K) er 4.58 mm Hg og ved $T_1 = 100^o$ C er det 760 mm Hg. Fordampingsvarmen ved $T_1 = 100^o$ C er $L_1 = 40,7$ kJ/mol. Videre er gasskonstanten $R = 8,314$ J/(K mol). Bestem ut fra dette størrelsen α i uttrykket for damptrykket gitt ovenfor. [Hint: Betrakt $\ln p$.]

Oppgitt: $dG = -S\,dT + V\,dp$, $(G = N\mu)$.

Oppgave 3

a)



Betrakt stasjonær varmeledning i radiell retning gjennom et sylindrisk rør. Røret har konstant varmeledningsevne κ. Temperaturen i avstanden r fra sylinderaksen er gitt ved

$$T = T(r) = A \ln r + B$$

der A og B er konstanter. Vis at T oppfyller varmeledningslikningen for stasjonære forhold $\nabla^2 T = 0$.

Det sylindriske røret har indre radius R_1 og ytre radius R_2. På indre rørflate med radius R_1 er temperaturen T_1 mens den på ytre rørflate med radius R_2 er temperaturen T_2. Bestem koeffisientene A og B og vis at

$$A = \frac{T_2 - T_1}{\ln(R_2/R_1)}.$$

b) Betrakt en lengde L av røret. Beregn den resulterende radielle varmestrømmen $\dot{Q}$ på en slik rørlengde L.

Hva er den numeriske verdien til $\dot{Q}$ dersom $L = 70\,\text{cm}$, $\kappa = 0,040\,\text{W/(m·K)}$, $R_1 = 1,0\,\text{cm}$, $R_2 = 2,0\,\text{cm}$, $T_1 = 30^o\,\text{C}$ og $T_2 = 20^o\,\text{C}$?

c) Røret under punkt a) plasseres nå innenfor et annet rør med radius større enn R_2. Luften mellom rørene blir så pumpet ut slik at det blir vakuum mellom de. Det ytre røret holdes så på temperaturen T_0. Mellom rørene overføres da varmen (energien) ved stråling alene. Netto varmestrøm blir dermed differensen mellom avgitt og mottatt energi mot overflaten med radius R_2. Anta at begge flatene stråler som svarte strålere der energi- eller varmestrømtettheten er gitt ved Stefan-Boltzmanns lov

$$j_s = \sigma T^4$$

der σ er Stefan-Boltzmanns konstant. Netto varmestrømtetthet mellom mellom de 2 flatene med henholdsvis temperaturene T_2 og T_0 blir da et uttrykk av formen

$$j_n = F(T_2 - T_0)$$

når differensen $T_2 - T_0$ er liten. Vis dette og bestem med det koeffisienten F.

Hva blir temperaturen T_2 uttrykt ved temperaturene T_1 og T_0 og andre størrelser gitt her og under punkt a)?

Oppgitt: $\nabla^2 = \dfrac{\partial^2}{\partial r^2} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial}{\partial r} + \dfrac{1}{r^2}\dfrac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \dfrac{\partial^2}{\partial z^2}$ (i sylinderkoordinater), $\mathbf{j} = -\kappa \nabla T$.