

NTNU

Institutt for fysikk



Faglig kontakt under eksamen:
Professor Johan S. Høye
Telefon: 91839082

Eksamen i TFY4165/FY1005 Termisk Fysikk

Tirsdag 3. juni 2008
09:00–13:00

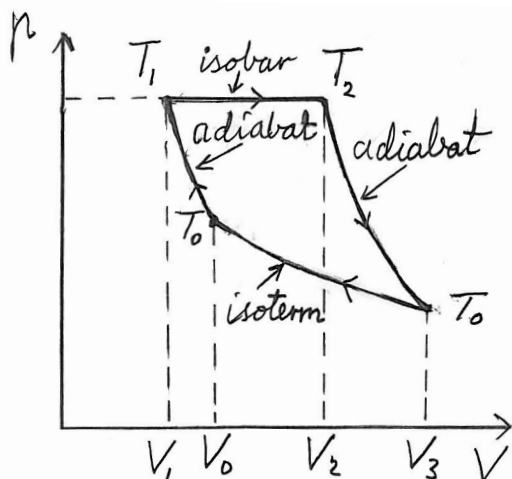
Tillatte hjelpemidler: Alternativ **C**
Typegodkjent kalkulator.
Rottman: *Matematisk formelsamling*

Sensurfrist: 24. juni.
(Hver av oppgavene 1, 2 og 3 teller like mye.)

Dette oppgavesettet er på 4 sider.

Oppgave 1

a)



Et mol av en ideell gass gjennomløper en reversibel kretsprosess. Som angitt på figuren blir gassen komprimert adiabatisk fra temperaturen T_0 der volumet er V_0 til temperaturen T_1 der volumet er V_1 . Så blir den varmet opp ved konstant trykk til temperaturen T_2 der volumet er V_2 . Deretter ekspanderer den adiabatisk til temperaturen igjen er T_0 og der volumet er V_3 . Til slutt komprimeres gassen ved konstant temperatur T_0 fra volumet V_3 tilbake til utgangspunktet med volum V_0 . Gassen har adiabatkonstant γ , og størrelsene V_0 , T_0 , T_1 og T_2 anses kjent.

Bestem volumet V_1 og deretter volumene V_2 og V_3 . Vis med dette at $V_3 = V_0(T_2/T_1)^\alpha$ der $\alpha = \gamma/(\gamma - 1)$.

b) Ved de 4 delprosessene blir det tilført varme. Bestem disse varmemengdene som vi kan kalle Q_{01} , Q_{12} , Q_{23} og Q_{30} for de enkelte delprosessene. (Indeksene på Q_{ij} angir indekser på de tilhørende volum V_i og V_j .)

c) Hva blir virkningsgraden η som er forholdet mellom utført arbeid og tilført varme (> 0) for denne kretsprosessen?

Mellom tilstanden med volum V_1 og temperatur T_1 og tilstanden med volum V_3 med temperatur T_0 er det en differanse i indre energi ΔU_{31} ($= U_1 - U_3$). Hva er denne differansen ΔU_{31} ?

Tilsvarende vil det være en differanse i entropi ΔS_{30} ($= S_0 - S_3$) mellom tilstandene med volum V_0 og V_3 som begge har samme temperatur T_0 . Hva er denne differansen ΔS_{30} ?

Oppgitt: $pV = RT$ (for et mol ideell gass), $TV^{\gamma-1} = \text{konst}$,
 $C_V = R/(\gamma - 1)$, $C_p = \alpha R$, $\alpha = \gamma/(\gamma - 1)$.

Oppgave 2

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

Et rent oppløsningsmiddel befinner seg på begge sider av en membran som det kan trenge gjennom. På den ene sida av denne membranen tilsettes et stoff som ikke kan trenge gjennom denne. Det tilsatte stoffet (som er oppløst) vil da føre til et osmotisk trykk mot membranen. Ved små konsentrasjoner er dette trykket gitt ved

$$\Delta p = \frac{RT}{V}n.$$

Utled dette uttrykket.

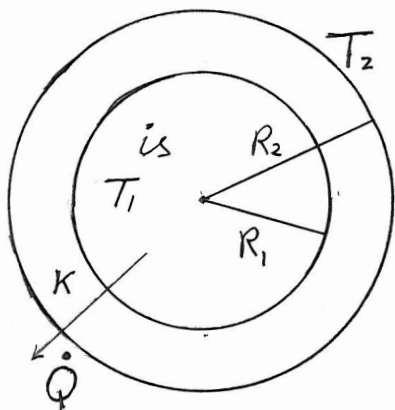
b) Kraftverk som kan utnytte det osmotiske trykket mellom ferskvann og saltvann ved utløpet av elver blir vurdert. Anta at pr. tidsenhet strømmer en vannmengde Q (volum/tid) gjennom membranen som skiller ferskvann og saltvann. Denne strømmen fører til et trykktap (friksjon) $\Delta p_t = \lambda Q$ der λ er en konstant. Dette betyr at når strømmen $Q = \Delta p_0/\lambda$ er trykktapet Δp_t lik det osmotiske trykket Δp_0 . Men når $Q < \Delta p_0/\lambda$ vil trykkdifferensen $\Delta p = \Delta p_0 - \Delta p_t$ kunne utføre et netto arbeid (f.eks. drive en turbin). Hva blir effekten (arbeid/tid) P til dette arbeidet når en ser bort fra tap forøvrig?

Effekten P vil variere med vannstrømmen Q . Betrakt tilfellet der maksimal effekt er $P = P_m = 85 \text{ kW}$ når det osmotiske trykket er $\Delta p_0 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ (21 atm). Hva er den tilhørende vannstrømmen $Q = Q_m$ som gir maksimal effekt?

Oppgitt: $\mu_i = \mu_i^0 + kT \ln x_i,$
 $dG = -S dT + V dp.$

Oppgave 3

a)



Betrakt varmeledning gjennom et kuleskall. Vis ved innsetting at

$$T = T(r) = \frac{A}{r} + B$$

der r er avstanden fra origo er løsning av varmeledningslikningen for stasjonære forhold

$$\nabla^2 T = 0.$$

Bestem koeffisientene A og B når temperaturen er $T = T_1$ ved $r = R_1$ og $T = T_2$ ved $r = R_2$.

Den totale varmestrømmen gjennom overflata på kula er proporsjonal med temperaturforskjellen og kan skrives på formen

$$\dot{Q} = D(T_1 - T_2).$$

Bestem den totale varmestrømmen \dot{Q} og med det koeffisienten D når varmeledningsevnen er κ ?

b) Betrakt ei hul kule med indre radius $R_1 = 10$ cm og ytre radius $R_2 = 15$ cm. Mellom radiene R_1 og R_2 består kula av et isolerende materiale slik at koeffisienten D funnet under punkt a) får verdien $D = 0,18$ W/K. Hva er varmeledningsevnen κ til det isolerende materialet?

Hulrommet innenfor radien R_1 er i utgangspunktet helt fylt med is på smeltepunktet $T_1 = 0^\circ\text{C}$. Ved ytterradien R_2 er temperaturen $T_2 = 20^\circ\text{C}$. Hvor lang tid t tar det før all isen har smeltet når smeltevarmen eller latent varme for is er $L = 333$ kJ/kg og egenvekten til is er $0,92$ kg/dm³?

c) Betrakt nå ei tilsvarende kule der begge radiene er endret med faktoren $\alpha = 1,2$. (Dette betyr at radiene er endret til henholdsvis 12 cm og 18 cm.) Denne nye kula er også i utgangspunktet helt fylt med is der T_1 og T_2 er de samme som tidligere. Videre er det samme type isolasjonsmateriale som tidligere mellom de nye verdiene på de to radiene. Hvor lang tid t_α vil det nå ta før all isen har smeltet? [Hint: Benytt sammenheng mellom tid og avstand ved varmeledning.]

Oppgitt: $\nabla^2 T = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r}$ (med kulesymmetri), $\mathbf{j} = -\kappa \nabla T$.