.

NTNU **Institutt for fysikk**

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

Eksamen i TFY4165/FY1005 Termisk Fysikk

Onsdag 8. juni 2011
15:00–19:00

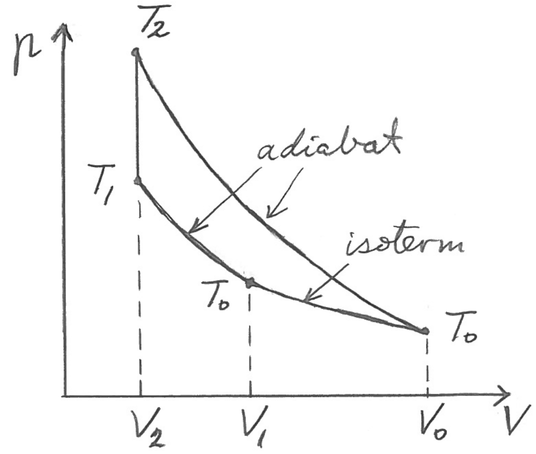
Tillatte hjelpemidler: Alternativ **C**
Typegodkjent kalkulator.
Rottman: *Matematisk formelsamling*

Sensurfrist: 29. 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 vist på figuren blir gassen komprimert isotermt fra volumet V_0 til volumet V_1 ved temperaturen T_0. Deretter blir den komprimert adiabatisk til volumet V_2 der temperaturen er T_1. Så blir den varmet opp ved konstant volum til temperaturen T_2. Til slutt ekspanderer gassen adiabatisk tilbake til utgangspunktet med volum V_0 og temperatur T_0. Gassen har adiabatkonstant γ, og størrelsene V_0, T_0, T_1 og T_2 anses kjent. Bestem volumene V_1 og V_2.

b) Bestem de tilførte varmemengdene som vi kan kalle Q_{01}, Q_{12}, Q_{22} og Q_{20} for de enkelte delprosessene. (Indeksene til 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 for denne kretsprosessen?

Mellom tilstanden med volum V_2 og temperatur T_1 og tilstanden med volum V_0 og temperatur T_0 er det en differanse i enthalpi ΔH. Hva er denne differensen ΔH?

Tilsvarende vil det være en differanse i entropi ΔS mellom de nevnte tilstandene med volum V_2 og V_0 og temperaturer T_1 og T_0. Hva er denne differansen ΔS?

Oppgitt: $pV = RT, \quad pV^\gamma = \text{konst},$
$\gamma = C_p/C_V, \quad C_p - C_V + R,$
$H = U + pV, \quad dQ = T\,dS.$

Oppgave 2

a) Et kvantisert magnetisk moment (f. eks. elektronspinn) har 2 kvantetilstander som kan betegnes med verdiene $s = \pm 1$ avhengig om det magnetiske momentet (eller spinnet) peker med eller mot påsatt magnetfelt. Betrakt et stort antall N slike magnetiske moment der antallet N_+ har verdien $s = +1$ og antallet N_- har verdien $s = -1$. Anta at det ikke er noen koplinger (krefter) mellom spinnene slik at de er uavhengige. Bruk Boltzmanns prinsipp med å telle antall konfigurasjoner (tilstander) til å bestemme entropien S til dette systemet. Vis at med $Nm = N_+ - N_-$ kan den skrives på formen

$$S = Nk[A - B(1+m)\ln(1+m) - C(1-m)\ln(1-m)],$$

og bestem med det koeffisientene A, B og C.

b) For magnetiske system kan den termodynamiske identitet skrives som

$$T\,dS = dU - Nh\,dm$$

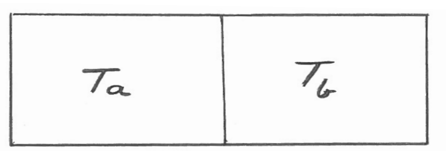
der h og Nm er proporsjonale med henholdsvis ytre magnetfelt og totalt magnetisk moment. Ved å erstatte den indre energi U med den fri energi

$$F = U - ST$$

kan likningen over erstattes med en likning for dF. Hva blir denne likningen for dF?

Med $F = F(T, m)$ kjent kan tilstandslikningen $h = h(T, m)$ bestemmes. Hva blir $h = h(T, m)$ når S er som gitt under punkt a) ovenfor og $U = 0$ for uavhengige spinn?

c)



To like store mengder vann som hver har samme varmekapasitet C, blandes slik at temperaturen jevnes ut og en får termisk likevekt. Anta at C er konstant og at volumendringer kan neglisjeres. Systemet er termisk isolert fra omgivelsene. Hva blir endringen i total entropi ΔS når termisk likevekt er oppnådd og de to temperaturene ved starten var henholdsvis T_a og T_b?

Utjevning av temperaturen mot termisk likevekt kan også skje reversibelt ved å ta ut maksimalt arbeid. Hva blir i så fall likevektstemperaturen T_0?

Oppgitt: $N! = \sqrt{2\pi N} N^N e^{-N}$ $\quad$ ($N \to \infty$, $\quad$ Stirlings formel),
$S = k \ln W$ $\quad$ (Boltzmanns prinsipp).

Oppgave 3

a) Ei tømmerhytte kan betraktes som en rektangulær boks med midlere dimensjoner $5,0\,\text{m}\times 4,0\,\text{m}\times 2,5\,\text{m}$. Vegger, tak og golv (bare kalt vegger nedenfor) regnes for å bestå av massivt tremateriale med $L = 20\,\text{cm}$ tykkelse. Veggenes totale areal (der forskjellen i areal mellom innerside og ytterside neglisjeres) kan tilnærmes med $A = (5,0\cdot 4,0 + 5,0\cdot 2,5 + 4,0\cdot 2,5)2\,\text{m}^2 = 85\,\text{m}^2$. En ser da bort fra dører og vinduer. Trematerialet har varmekapasitet $c = 1350\ \text{kJ}/(\text{m}^3\text{K})$ og varmeledningsevne $\kappa = 0,14\,\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Temperaturen i hytta og vegger er i utgangspunktet lik utetemperaturen som er $-10°\text{C}$. En ovn som gir $P_0 = 4,0\,\text{kW}$ skal varme opp innelufta til $20°\text{C}$ med tilhørende oppvarming av vegger. Oppvarming av veggene tilsvarer at de får en temperaturfordeling som er lineær fra $-10°\text{C}$ på yttersiden til $20°\text{C}$ på innersiden. Gi et overslag over hvor lang tid t ovnen trenger til en slik oppvarming av veggene?

b) Etter at veggene er varmet opp trengs en effekt P fra ovnen for å holde en konstant innetemperatur $20°\text{C}$ mens utetemperaturen fremdeles er $-10°\text{C}$. Hvor stor er denne effekten P?

c) Vanndamp diffunderer langs et rør med stillestående luft som har temperaturen $T = 20°\text{C}$. Røret har lengde $L = 10\,\text{cm}$ og indre tverrsnitt $A = 1,5\,\text{cm}^2$. Vanndamptrykket i den ene enden av røret er $p_1 = 2,2\cdot 10^3\,\text{Pa}$ og $p_2 = 1,2\cdot 10^3\,\text{Pa}$ i den andre. Anta at diffusjonskonstanten for vanndamp er $3\cdot 10^{-5}\,\text{m}^2/\text{s}$ for den gitte situasjonen. Molekylvekta for vann er 18. Hvor stor er massestrømmen (masse/tidsenhet) J_m av vanndamp gjennom røret ved stasjonære forhold? [Hint: Betrakt først partikkelstrømmen.]

Oppgitt: $p = nkT$, $n = N/V$, $R = kN_A = 8,314\,\text{J}/(\text{K}\cdot\text{mol})$, $j = -D\nabla n$.