UNIVERSITETET I TRONDHEIM
NORGES TEKNISKE HØGSKOLE
INSTITUTT FOR FYSIKK

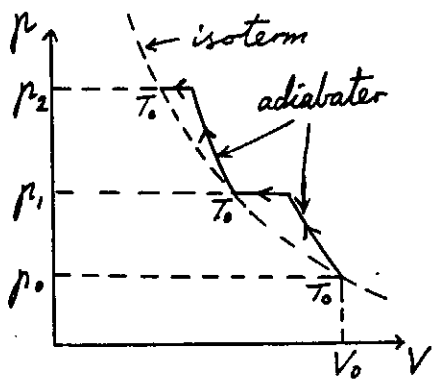
Faglig kontakt under eksamen:
Professor J.S.Høye
Tlf. 3654

EKSAMEN I FAG 74305 TERMISK FYSIKK
Mandag 6.juni 1994
kl.0900–1500

Tillatte hjelpemidler: Rottmann:Mathematische Formelsammlung
Barnett and Cronin: Mathematical Formulae
Godkjent kalkulator.

Oppgave 1

a)



En ideell gass med gitt volum V_0 og temperatur T_0 skal komprimeres fra trykket p_0 til trykket p_2. Dette gjøres i 4 trinn. Som angitt på figuren blir gassen i første trinn komprimert adiabatisk (og reversibelt) til trykket p_1. Den blir så avkjølt ved konstant trykk til temperaturen igjen er T_0. Deretter blir gassen igjen komprimert adiabatisk fra trykket p_1 til trykket p_2.

Til slutt blir den igjen avkjølt ved konstant trykk til temperaturen T_0.

Beregn det totale (reversible) arbeidet W (> 0) som må tilføres ved denne kompresjonen når adiabatkonstanten γ anses kjent.
Bestem så størrelsen på trykket p_1 i andre trinn som gjør dette arbeidet minst mulig.

b) Vis relasjonen (Maxwell relasjon)

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$$

Oppgitt: For ideell gass: $pV = nRT$

$pV^{\gamma} = p_0 V_0^{\gamma}$

Helmholtz fri energi: $F = U - ST$.

Oppgave 2

a) Hva sier termodynamikkens 1.hovedsetning om sammenhengen mellom energi og varme?
Den 2.hovedsetningen gir begrensninger når varme skal omdannes til arbeid, og når varme skal transporteres mellom varme og kalde steder. Hvilke slike (2 ekvivalente) begrensninger gir 2.hovedsetning uttrykk for.
Hva sier termodynamikkens 3.hovedsetning om endringer av entropien ved temperaturen $T = 0$ når andre parametre endres, f.eks. volumet V ?

Ideell gass er ikke helt i samsvar med termodynamikkens 3 hovedsetninger. Hva er det som ikke er oppfylt for ideell gass, og hva skyldes dette ?

b) Den indre energi U er gitt ved

$$U = -\frac{\partial}{\partial \beta}(\ln Z)$$

der Z er partisjonsfunksjonen i statistisk mekanikk og $\beta = 1/kT$. Utled denne relasjonen i kvantemekanisk versjon.

c) Hver partikkel i et system bestående av N uavhengige og lokaliserte partikler (dvs. partiklene ligger fast i et gitter) kan ha 2 energier ϵ_1 og ϵ_2. De 2 energiene har degenerasjonsgrad henholdsvis $g_1 = 2$ og $g_2 = 6$.(Dvs. for energien ϵ_i er det g_i kvantetilstander $(i=1,2)$). Hva er systemets entropi ved $T=0$ når $\epsilon_2 > \epsilon_1$, og hva er systemets entropi for store T $(\rightarrow \infty)$?
Bestem systemets midlere indre energi som funksjon av temperaturen.

Oppgave 3

a) Hva er likevektsbetingelsene på temperatur, trykk og kjemisk potensial for et system i likevekt?
Når et ikke flyktig stoff løses opp i en væske er uttrykket for kokepunktforhøyelsen gitt ved

$$\Delta T = \frac{RT^2}{L} x \ .$$

Hva er R, T, L og x ?

b) Anta nå mer generelt at små mengder av flere forskjellige flyktige stoffer er oppløst i en væske. Siden de oppløste stoffene er flyktige vil de også være tilstede i dampen over væsken. Utled uttrykket for kokepunktendringen ved konstant trykk for dette mer generelle tilfellet når sammensetningen i både damp og væskefase antas kjent.

c) En oppløsning med 110g av et ikke flyktig stoff i en liter vann gir en kokepunktforhøyelse på 0,20K. ved en atmosfæres trykk. Beregn ut fra dette den omtrentlige molekylvekten til det oppløste stoffet.

Oppgitt: $R = 8{,}32$ J/mol K. og $L = 4 \cdot 10^4$ J/mol.

Oppgave 4

a) En plan svart flate har temperaturen $T = 20^0$C. Parallelt med denne ligger en annen plan svart flate med temperaturen $T = T + \Delta T$ der temperaturforskjellen ΔT er liten. Med vakuum mellom de 2 flatene vil det gå en viss netto varmestrøm på grunn av stråling.
Mellomrommet kan også fylles helt med kork som har varmeledningsevne $\kappa = 0{,}04$ J/msK. Hva er tykkelsen d på korklaget, dvs. avstanden mellom flatene, når kork gir samme stasjonære varmestrøm som vakuum mellom flatene?

b) Frekvensfordelingen av energitettheten $u(\nu,T)$ i et elektromagnetisk hulrom er gitt ved

$$u(\nu,T) = \frac{60}{\pi^4} \sigma \frac{1}{c} \left(\frac{h}{k}\right)^4 \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

der σ er Stefan–Boltzmanns konstant. ($u(\nu,T)d\nu$ er energitettheten eller energi pr. volumenhet innenfor frekvensintervallet $d\nu$.)

4

Glødetråden på en glødelampe har temperaturen $T = 2450K$, og en ønsker å bestemme hvor stor brøkdel av den emitterte energien som er synlig lys, dvs. hvor stor andel av den utstrålte energien har bølgelengde $\lambda \leq \lambda_0 = 700$ nm når en antar svart stråling.

[Hint: Benytt at her er $\exp(h\nu/kT) >> 1$ for synlig lys].

Oppgitt:

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ W/m^2K^4$ (Stefan–Boltzmanns konstant)

$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ J/K$

$h = 6{,}625 \cdot 10^{-34}\ Js$

$c = 3 \cdot 10^8\ m/s$

$I_n(x) = -x^n e^{x} + nI_{n-1}(x)$ der $I_n(x) = \int x^n e^{-x} dx$.

$j = \frac{1}{4} cu$ (u er energitettheten i et elektromagnetisk hulrom mens j er energistrømmen pr. flateenhet gjennom en liten åpning ut av dette hulrommet.)