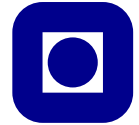


NTNU

Institutt for fysikk



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

### **Eksamen i FY1005 Termisk Fysikk**

Mandag 7. desember 2009  
09:00–13:00

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

Sensurfrist: 7. januar.  
(Hver av oppgavene 1, 2 og 3 teller like mye.)

Dette oppgavesettet er på 4 sider.

## Oppgave 1

a) Et mol gass følger Van der Waals tilstandslikning

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$$

der  $a$  og  $b$  er konstanter,  $p$  er trykket,  $T$  er temperaturen og  $R$  er gasskonstanten. Gassen har varmekapasitet ved konstant volum  $C_V$ . Den indre energi er da gitt ved

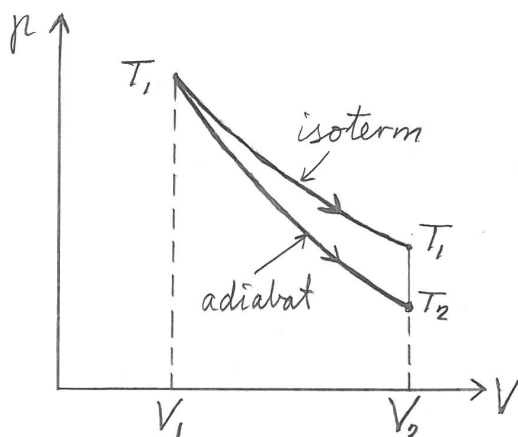
$$U = C_V T - \frac{a}{V}.$$

Uttrykket for entropien til denne gassen kan skrives på formen

$$S = A \ln T + B \ln(V - V_0) + \text{konst.}$$

Vis dette og bestem med det størrelsene  $A$ ,  $B$  og  $V_0$ .

b)



Van der Waals gassen skal ekspandere fra volumet  $V_1$  til volumet  $V_2$ . Dette kan gjøres på 2 måter, som vist på figuren. Den ene måten er å følge isoterme  $T = T_1$ . Beregn arbeidet  $W_1$  langs denne isoterme.

Den andre måten er å følge adiabaten mellom temperaturene  $T_1$  og  $T_2$ . Hva blir  $T_2$  når  $T_1$ ,  $V_1$  og  $V_2$  er gitt?

Hva blir så arbeidet  $W_2$  langs adiabaten når også  $T_2$  er kjent? [Hint: Benytt at tilført varme  $Q = \Delta U + W = 0$ .]

c) Kjøleskap kan drives uten motor ved at det isteden tilføres varme. En varmemengde  $Q_1 = 2,5 \text{ kJ}$  skal tas ut fra et kjøleskap ved temperaturen  $T_1 = 2^\circ\text{C}$ . Dette skal gjøres ved å tilføre varmemengden  $Q_2$  ved en temperatur  $T_2 = 80^\circ\text{C}$ . Overskuddsvarmen  $Q_0$  blir avgitt til omgivelsene ved en temperatur  $T_0 = 30^\circ\text{C}$ . Hva er den teoretisk sett minste varmemengde  $Q_2$  som må tilføres for å ta ut den gitte varmemengden  $Q_1$ ?

Oppgitt:  $T dS = dU + p dV$ ,  $W = \int p dV$ .

## Oppgave 2

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

Når fast stoff løses opp i en væske vil frysepunktet senkes. Uttrykket for denne frysepunkt-nedsettelsen  $\Delta T$  for en fortynnet oppløsning blir

$$\Delta T = -\frac{RT_0^2}{L_{sm}}x_s$$

når oppløseligheten av tilsatt stoff i den faste fasen kan negliseres. Hva er  $R$ ,  $L_{sm}$  og  $x_s$ ? Utled dette uttrykket.

b) En viss mengde  $C_2H_6O$  (etanol) helles i 3,0 l  $H_2O$  (vann) slik at frysepunktet synker  $4,5^\circ C$ . Bruk uttrykket ovenfor til å beregne massen  $m$  til den mengden  $C_2H_6O$  som ble helt i vannet når  $R = 8,314 J/(K mol)$  og  $L_{sm} = 330 J/g$ . Atomvektene for H, C og O er henholdsvis 1, 12 og 16.

Oppgitt:  $\mu(p, T) = \mu^0(p, T) + kT \ln x,$   
 $dG = -S dT + V dp, \quad G = N\mu.$

### Oppgave 3

a) Diffusjonskonstanten  $D$  for diffusjon av partikler i gasser avhenger av midlere fri veilengde  $\lambda$  og av midlere partikkelhastighet  $\langle v \rangle$ . Hva er sammenhengen bortsett fra en konstant faktor (dvs. faktor uavhengig av  $\lambda$  og  $\langle v \rangle$ )?

Hva er videre sammenhengen mellom fri veilengde  $\lambda$  og tettheten  $n$  til gassen, og hva er tilsvarende sammenhengen mellom midlere hastighet  $\langle v \rangle$  og temperaturen  $T$  på en konstant nær? (Det er tilstrekkelig å skrive ned sammenhengene eller uttrykkene under punkt a.)

b) En vannmengde med masse  $m = 0,15$  g ligger på bunnen av et åpent reagensrør med lengde  $L = 15$  cm og tverrsnitt  $A = 1,8$  cm<sup>2</sup>. Røret befinner seg videre i en glassklokke med tørremiddel slik at all vanddamp som kommer ut i klokken, blir umiddelbart absorbert. Temperaturen er  $T = 20^{\circ}\text{C}$  ( $=293$  K) slik at vanddamptrykket i bunnen av røret er  $p = 20$  mm Hg ( $1\text{ atm}=760\text{ mm Hg}=1,013\cdot 10^5$  Pa). Vanddampen kan betraktes som en ideell gass. Etter hvert som vannet fordampes vil det diffundere ut av reagensrøret. Det antas at luften i reagensrøret ligger helt i ro slik at all transport av vanddamp foregår ved diffusjon. Anta videre at diffusjonskonstanten for vanddamp er  $D = 3 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s. Molekylvekten for vann er 18. Hvor lang tid tar det før alt vannet er fordampet under disse forutsetningene. [Hint: Bestem først uttrykket for det totale antall vannmolekyl (eller vannpartikler). Anta så stasjonære forhold og etabler sammenhengen mellom diffusjonsstrømmen av vanddamp-molekyl og tetthetsgradienten  $\nabla n$  av disse i røret.]

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