

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

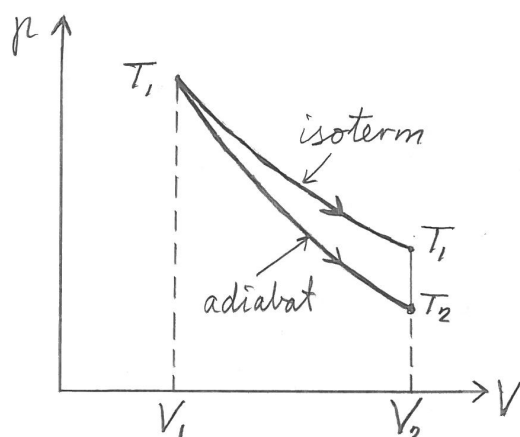
$$U = C_V T - \frac{a}{V}.$$

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 ΔT 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 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (etanol) helles i 3,0 l H_2O (vann) slik at frysepunktet synker $4,5^\circ\text{C}$. Bruk uttrykket ovenfor til å beregne massen m til den mengden $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ som ble helt i vannet når $R = 8,314 \text{ J}/(\text{K mol})$ og $L_{sm} = 330 \text{ J/g}$. 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 λ og av midlere partikkelhastighet $\langle v \rangle$. Hva er sammenhengen bortsett fra en konstant faktor (dvs. faktor uavhengig av λ og $\langle v \rangle$)?

Hva er videre sammenhengen mellom fri veilengde λ 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 $A = 1,8$ cm². Røret befinner seg videre i en glassklokke med tørremiddel slik at all vanndamp som kommer ut i klokken, blir umiddelbart absorbert. Temperaturen er $T = 20^{\circ}\text{C}$ ($=293$ K) slik at vanndamptrykket i bunnen av røret er $p = 20$ mm Hg ($1\text{ atm}=760\text{ mm Hg}=1,013\cdot 10^5\text{ Pa}$). Vanndampen 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 vanndamp foregår ved diffusjon. Anta videre at diffusjonskonstanten for vanndamp er $D = 3 \cdot 10^{-5}$ m²/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 vanndamp-molekyl og tetthetsgradienten ∇n av disse i røret.]

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