.

NTNU **Institutt for fysikk**

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

Eksamen i TFY4165 Termisk Fysikk

Lørdag 15. august 2009
09:00–13:00

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

Sensurfrist: 1. september
(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 har varmekapasitet C_p ved konstant trykk p. Enthalpien er da gitt ved

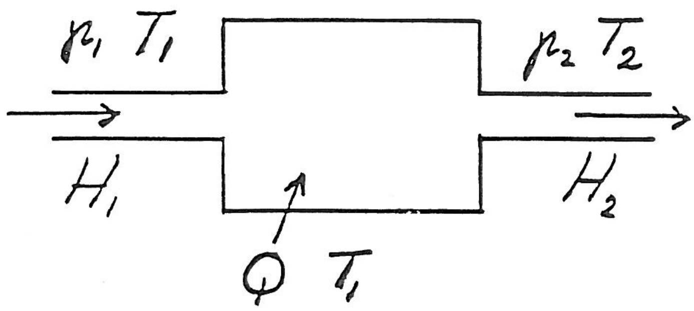
$$H = C_p T$$

der T er temperaturen. Uttrykket for entropien til denne gassen kan skrives på formen

$$S = A \ln T - B \ln p + \text{konst.}$$

Vis dette og bestem med det størrelsene A og B.

b)



En ideell gass som angitt i punkt a), med temperatur T_1 og trykk p_1 strømmer inn i et system som vist på figuren. Gassen strømmer ut igjen med temperatur T_2 og trykk p_2. Et mol av gassen har enthalpien H_1 ved innløpet av systemet mens den har enthalpien H_2 ved utløpet. Ved stasjonære forhold absorberer systemet samtidig en varmemengde Q fra omgivelsene, som også har temperaturen T_1. Bestem sammenhengen mellom temperaturendringen $T_2 - T_1$ og tilført varme Q. [Hint: Se på energibalansen og benytt at $H_1 = H_2$ for strøm gjennom "porøs plugg" når $Q = 0$.]

c) Ved å bygge inn et passende maskineri i systemet kan strømmen av gass gjennom det ideelt sett kunne gjøres reversibel. Men dette maskineriet skal ikke gi noe netto arbeid ut av eller inn i systemet. Siden total entropi ikke kan avta kreves det et visst minste trykk p_1 for å endre temperaturen fra T_1 til T_2. Hva er teoretisk sett dette minste trykket p_1 når T_1, T_2, p_2 og C_p er gitt for den ideelle gassen? [Hint: Betrakt entropien for reversibel prosess.]

Hva er den numeriske verdien til p_1 når $p_2 = 1,00\,\text{atm}$, $T_1 = 20^o\text{C}$, $T_2 = -15^o\text{C}$ og $C_p = 3,5\,R$?

Oppgitt: $pV = T$, $\quad TdS = dH - V\,dp$.

Oppgave 2

a) Utled Maxwellrelasjonen

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

og vis deretter at

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T = V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p.$$

[Hint: Etabler først uttrykket for differensialet dG der G er Gibbs fri energi.]

b) Vis at Joule-Thompson koeffisienten kan uttrykkes som

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = \frac{1}{C_p}\left[T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p - V\right].$$

c) For lave tettheter eller store volum V er tilstandslikningen for et mol av en ikke-ideell gass gitt ved

$$p = \frac{RT}{V} + \frac{B(T)}{V^2}$$

der $B(T)$ er en funksjon av T alene (dvs. uavhengig av V). Beregn Joule-Thompson koeffisienten $\mu_{JT} = \mu_{JT}(T, V)$ for denne gassen når C_p anses gitt, og la $V \to \infty$ i svaret.

Oppgitt: $H = U + pV, \quad G = U - TS + pV,$

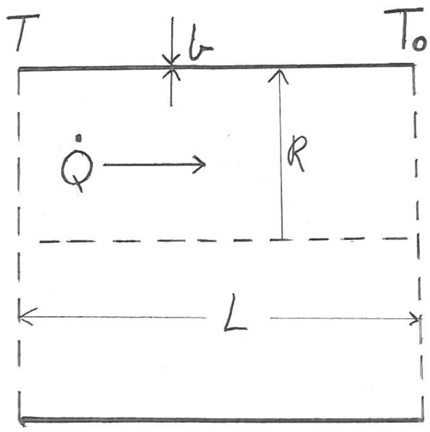
$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x = -1.$$

Oppgave 3

a) Et antall av N partikler (molekyl) befinner seg i et volum V. Partiklene danner en ideell gass (dvs. en gass ved lav tetthet), og de kan betraktes som harde kuler med radius r. Hvor langt i middel λ kan den enkelte partikkel bevege seg før den kolliderer med en annen partikkel når en antar til forenkling at de andre partiklene er i ro? [Hint: Betrakt en sylinder med en passende radius R og lengde L, og bestem først det midlere antall partikler med sine sentra innenfor denne.]

Hva blir λ dersom $n = 2,0\,\mathrm{mol}$ av en gass av partikler med radius $r = 0,15\,\mathrm{nm}$ befinner seg i et volum $V = 3,0\,\mathrm{m}^3$?

b)



En ståltermos består av to lag metall med vakuum mellom for å isolere. Ved åpningen er det imidlertid mer direkte kontakt med omverdenen. Denne kontakten utgjør en metallsylinder, som vist på figuren. Den ligger rundt og langs skrukorken som settes i åpningen. Anta at denne metallsylinderen har lengde $L = 4,0\,\mathrm{cm}$, radius $R = 1,8\,\mathrm{cm}$ og tykkelse $b = 0,50\,\mathrm{mm}$ ($b \ll R$). Videre er sylinderen av stål med varmeledningsevne $\kappa = 46\,\mathrm{W/m{\cdot}K}$. Hvor stor er varme- eller energistrømmen $\dot{Q}$ langs metallsylinderen når temperaturforskjellen mellom endene på sylinderen er $\Delta T = T - T_0 = 50^o\mathrm{C}$.

c) Anta at det i det indre av termosen befinner seg en viss mengde vann (ca 0,7 l) slik at varmekapasiteten i det indre av den er $C = 2,9\,\mathrm{kJ/K}$. Finn differensiallikningen som bestemmer hvordan temperaturforskjellen $\Delta T = T - T_0$ mellom det indre av termosen og omgivelsene vil endre seg med tiden t på grunn av varmeledning langs stålsylinderen alene. (All annen varmetransport blir da neglisert.)

Differensiallikningen har løsning av formen $\Delta T = A\exp(-\alpha t)$ der A er en konstant. Bestem α uttrykt ved de andre gitte størrelsene. Sett så inn de gitte tallverdiene og bestem hvor lang tid $t = \tau$ det vil ta før temperaturforkjellen ΔT reduseres til halvparten av sin startverdi.

Oppgitt: $j_x = -\kappa \dfrac{dT}{dx}$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$ (Avogadros tall).