NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET,
INSTITUTT FOR FYSIKK

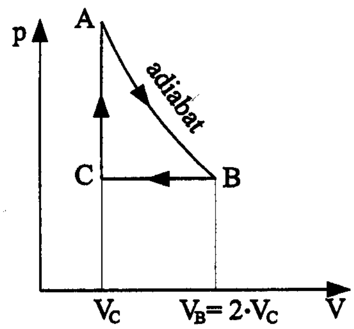
Faglig kontakt under eksamen:
Institutt for fysikk
Førsteaman. Arne Mikkelsen 7359 3433

EKSAMEN I EMNE SIF4016 FYSIKK 4
EKSAMEN I EMNE SIF4016 TERMISK FYSIKK
Onsdag 16. august 2000 kl. 0900 - 1300

Hjelpemidler:
B2 - Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i henhold til liste utarbeida av NTNU.
Rottmann: Matematisk formelsamling (norsk eller tysk utgave).
Øgrim & Lian: Størrelser og enheter i fysikk og teknikk.

Ved bedømmingen blir i utgangspunktet hver deloppgave a,b, etc. vektlagt like mye (totalt 9 vekttall). Ved numeriske svar må du gi både tallverdi og enhet. Oppgitte formler på siste side.

Oppgave 1.



En viss mengde av en enatomig ideell gass gjennomløper kretsprosessen som er vist i figuren. Merk at $V_A = V_C = V_B/2$. Anta temperaturen T_A i A er gitt. Adiabatkonstanten for enatomig ideell gass er $\gamma = C_P/C_V = 5/3$.

a) Finn temperaturene T_B i B og T_C i C og vis at de kan uttrykkes

$$T_B = T_A \cdot \frac{1}{2^{\gamma-1}} \qquad \text{og} \qquad T_C = T_A \cdot \frac{1}{2^{\gamma}}.$$

Finn derretter varmemengdene Q_{AB}, Q_{BC} og Q_{CA} uttrykt ved varmekapasiteter, γ og T_A.

b) Finn virkningsgraden η for prosessen (tallsvar). Hva er den maksimale virkningsgraden η_m for en varmekraftmaskin som arbeid mellom to reservoar med temperaturer lik henholdsvis den største og den minste temperatur som opptrer i den gitte kretsprosessen?

Oppgave 2.

a) Et mol gass følger van der Waals tilstandslikning

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

der a og b er konstanter og V er (molart) volum til gassen. Varmekapasiteten C_V er uavhengig av T og V.

Bestem uttrykket for gassens indre energi, og vis at det kan skrives

$$U(T,V) = C_V T - \frac{a}{V} + U_0$$

der U_0 er en konstant.

Finn deretter gassens entropi $S(T,V)$ når $S = S_0$ ved $(T,V) = (T_0, V_0)$.

b) van der Waals gassen presses gjennom en porøs plugg (Joule-Thomson-effekten). I starttilstanden (før gjennomgangen) er $V_0 = 5b$ og $T_0 = \frac{1}{2}\frac{a}{Rb}$. I sluttilstanden kan volumet V_S regnes uendelig stort og temperaturen er T_S. Varmekapasiteten for ett mol av gassen er $C_V = \frac{3}{2}R$.

Finn først et uttrykk for gassens entalpi $H(T,V)$. Finn deretter sluttemperaturen T_S uttrykt ved T_0.

Oppgave 3.

a) Definer en ideell blanding. Finn blandingsentropien når 10 g Ne-gass blandes med 28 g N_2-gass.

b) For å skille disse gassene må vi bruke et visst minste arbeid på gassen. Hva er dette minste arbeidet når trykk og temperatur i gassene er henholdsvis 1,0 atm og 27 °C både før og etter atskillelsen?

c) En svak saltløsning i vann kan betraktes som en ideell blanding. Dersom trykket holdes konstant kan frysepunktdepresjonen ΔT ved konstant trykk uttrykkes (symbolene må tolkes selv):

$$\frac{\Delta T}{T_0} = -\frac{RT_0}{l_{\mathrm{sm}}} \cdot x_{\mathrm{s}}$$

Beregn frysepunktdepresjonen når du løser 5,0 % (vektprosent) NaCl i vann.

Oppgitt for oppgave 3:

Atomvekter: neon 20; nitrogen 14;
natrium 23,0; klor 35,5; hydrogen 1,0; oksygen 16,0.

Smeltevarme H_2O = 6,0 kJ/mol.

Oppgave 4.

Gitt to varmereservoar, et med kokende vann (100 °C) og et med is/vann-blanding (0 °C). Det varme reservoaret kan regnes uendelig stort og det kalde reservoaret har tilstrekkelig ismengde. En sylindrisk kopperstav med lengde 0,50 m og diameter 20 mm forbinder de to reservoarene. Staven har varmeisolerende sidevegger slik at for denne utveksles varme kun med reservoarene. Reservoarene derimot er ikke fullstendig isolert fra omgivelsene slik at de i tillegg til varme gjennom kopperstaven også utveksler varme med omgivelsene.

Omgivelsene har temperatur 20 °C og varmekonduktansen mellom hvert reservoar og omgivelser er $G = 1,40\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}$. Varmeledningsevnen til kopper er $\kappa_{\mathrm{Cu}} = 400\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K \cdot m}}$ og smeltevarmen for is er $l_{\mathrm{sm,is}} = 335\ \mathrm{kJ/kg}$.

a) Finn mengde is som smelter pr. minutt når stasjonære forhold er oppnådd.

b) Finn entropiendringen pr. minutt for henholdsvis varmt og kaldt reservoar, samt den totale (universets) entropiendring.

****

(formler på neste side)

Noen av disse formlene kan du få bruk for. Du må selv tolke symbolene.

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

$$H = U + pV, \qquad F = U - TS, \qquad G = H - TS, \qquad G = \sum_i \mu_i N_i$$

$$T\mathrm{d}S = \mathrm{d}U + p\mathrm{d}V - \sum_i \mu_i \mathrm{d}N_i, \qquad \mathrm{d}G = V\mathrm{d}p - S\mathrm{d}T + \sum \mu_i \mathrm{d}N_i$$

$$pV^\gamma = \text{konst.} \qquad TV^{\gamma-1} = \text{konst.} \qquad p^{1-\gamma}T^\gamma = \text{konst.}$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p = T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V, \qquad C_P - C_V = T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

$$\Delta S_{\text{mix}} = -k\sum_i N_i \ln x_i, \qquad \mu_i(p,T,x_i) = \mu_i(p,T,0) + kT\ln x_i.$$

Maxwellfordeling:

$$f(v) = 4\pi v^2 \left(\frac{b}{\pi}\right)^{3/2} \exp\left\{-bv^2\right\}, \qquad \langle v\rangle = \sqrt{\frac{4}{\pi b}}, \qquad \langle v^2\rangle = \frac{3}{2b}, \qquad \text{der } b = \frac{m}{2kT}$$

$$\mathrm{d}^3 j(v,\theta,\phi) = \frac{n}{4\pi} v f(v)\mathrm{d}v \cos\theta \sin\theta \mathrm{d}\theta \mathrm{d}\phi, \qquad \mathrm{d}j(v) = \frac{n}{4} v f(v)\mathrm{d}v, \qquad j = \frac{n}{4}\langle v\rangle$$

Partikler pr. volumenhet med gitt fart og retning:

$$\mathrm{d}^3 n(v,\theta,\phi) = \frac{n}{4\pi} f(v)\mathrm{d}v \sin\theta \,\mathrm{d}\theta\,\mathrm{d}\phi,$$

Romvinkel

$$\mathrm{d}\Omega = \sin\theta\,\mathrm{d}\theta\,\mathrm{d}\phi$$

Fri veglengde:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}n\sigma}, \qquad N(x) = N(0)\mathrm{e}^{-x/\lambda}$$

Varmeledning:

$$\vec{j} = -\kappa \vec{\nabla} T, \qquad \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = -\kappa\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}z}A, \qquad \frac{\partial T}{\partial t} = D_T \cdot \vec{\nabla}^2 T, \qquad \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = -G\,\Delta T$$

Fotongass, Stefan-Boltzmanns lov:

$$U = Vu(T) = VaT^4, \quad p = \frac{a}{3}T^4, \quad j = \sigma T^4, \qquad \sigma = a\cdot\frac{c}{4} = \frac{\pi^2}{60}\frac{k^4}{\hbar^3 c^2}$$

Verdi av integralet

$$f(k) = \int_0^\infty x^k e^{-bx^2}\mathrm{d}x:$$

k	$f(k)$	k	$f(k)$
0	$\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\pi}{b}}$	1	$\frac{1}{2b}$
2	$\frac{1}{4b}\sqrt{\frac{\pi}{b}}$	3	$\frac{1}{2b^2}$
4	$\frac{3}{8b^2}\sqrt{\frac{\pi}{b}}$	5	$\frac{1}{b^3}$