NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET,
INSTITUTT FOR FYSIKK

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

EKSAMEN I EMNE SIF4016 TERMISK FYSIKK

Fredag 13. august 1999 kl. 0900 - 1400

Hjelpemidler:

B2 - Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i henhold til liste utarbeida av NTNU.
Rottmann: Matematisk formelsamling (norsk eller tysk utgave).

Ved bedømmingen blir i utgangspunktet hver deloppgave a,b, etc. vektlagt like mye (totalt 10 vekttall). Ved numeriske svar må du gi både tallverdi og enhet. Oppgitte formler på siste side.

Oppgave 1.

En tenkt reversibel varmekraftmaskin har ideell gass som arbeidssubstans og arbeider i en syklisk prosess med tre trinn: $(1 \to 2)$ isobar fra (p_1, V_1) til (p_1, V_3), $(2 \to 3)$ en isokor fra (p_1, V_3) til (p_3, V_3) og $(3 \to 1)$ en adiabat fra (p_3, V_3) til (p_1, V_1). Varmen i de tre ulike prosessene kaller vi Q_{12}, Q_{23} og Q_{31}. Gassen har varmekapasitet C_P og C_V.

Skisser prosessen i et pV-diagram og beregn virkningsgraden η for maskinen uttrykt ved p_3/p_1, V_1/V_3 samt γ $(= C_P/C_V)$.

Oppgave 2.

a) På grunnlag av verdier i tabellen under skal du beregne ΔU for følgende reaksjon ved standard tilstand (25 °C og 1 atm). I reaksjonslikningen er g=gass, v=væske og mengdene er gitt i mol.

$$2\,H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,H_2O(v).$$

b) Beregn også ΔS for reaksjonen. Ved hvilken temperatur er reaksjonen i likevekt (dvs. det foregår ingen spontan reaksjon hverken mot høyre eller venstre)?

	$\Delta_f G$	$\Delta_f H$	S
$H_2O(v)$	-237 kJ/mol	-286 kJ/mol	70 J/(K mol)
$H_2(g)$	0 kJ/mol	0 kJ/mol	131 J/(K mol)
$O_2(g)$	0 kJ/mol	0 kJ/mol	205 J/(K mol)

Tabellen viser ved standard tilstand (25 °C og 1 atm):
$\Delta_f G$ = standard Gibbs fri energi for dannelse ("formation") fra elementer i normaltilstand,
$\Delta_f H$ = standard entalpi for dannelse ("formation") fra elementer i normaltilstand,
S = standard entropi.

Oppgave 3.

a) Tegn opp en pT-projeksjon av fasediagrammet for et stoff som kan være i tre faser: fast, væske og gass. Angi spesielt hvor det kritiske punktet ligger. Forklar og begrunn hvordan fasediagrammet er ulikt for stoffer som henholdsvis utvider seg eller trekker seg sammen ved frysing.

b) Clapeyrons likning for fordampningskurven for et stoff kan skrives:

$$\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}T}\right)_{\text{ford}} = \frac{\Delta s}{\Delta v}.$$

Forklar symbolene som inngår og vis hvordan man kommer fram til denne likningen på grunnlag av termisk likevekt mellom gass og væske.

c) Likningen kan også skrives på følgende form:

$$\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}T}\right)_{\text{ford}} = \frac{\Delta h \cdot p}{T^2 \cdot R},$$

der Δh er den molare fordampningsentalpien. Utled denne likningen fra likningen i b) og forklar spesielt hvilke forutsetninger du må gjøre.

Oppgave 4.

En elektronkanon sender en tynn elektronstråle med strømstyrke $I_0 = 100\ \mu\text{A}$ inn mot en liten elektrode i avstand $x = 20$ cm fra elektronkanonen. Når det er vakuum i rommet mellom elektronkanonen og elektroden vil alle elektronene i strålen treffe og bli innfanget av elektroden. Når det er gass i rommet vil en del av elektronene kollidere med gassmolekylene og bli spredd ut av strålen. Vi kan regne at ingen av disse spredde elektronene vil treffe elektroden. Gassen i rommet kan vi regne er ideell og temperaturen konstant. Strømstyrken i elektrodeledningene er proporsjonal med antall elektroner pr. tid som treffer elektroden.

a) Når gasstrykket mellom elektronkanonen og elektroden er $p = 100\ \text{N/m}^2$ finner en at strømstyrken i elektrodeledningene er $I = 37\ \mu\text{A}$. Hvor stor er den midlere fri veglengden λ for gassen?

b) Gasstrykket reduseres så til $p = 50\ \text{N/m}^2$. Hvor stor blir da strømstyrken fra elektroden?

Oppgave 5.

En vertikal luftspalte i en vegg har bredde d. Bredden er tilstrekkelig liten til at vi kan se bort fra varmetransport ved konveksjon. Temperaturen på indre begrensningsflate er T_1, og på ytre T_2. Flatene regnes som absolutt svarte. Luftas varmeledningsevne er κ.

Hvor stor del, X, av den totale varmestrømmen skyldes stråling? Finn først bokstavuttrykk, og sett deretter inn tallverdier: $T_1 = 25\ ^\circ\text{C}$, $T_2 = 5\ ^\circ\text{C}$, $d = 1{,}0$ cm, $\kappa = 0,024\ \text{W/(Km)}$.

Oppgave 6.

Vannet i et stort og dypt kar har konstant temperatur $T_V = 0\,^\circ\mathrm{C}$. Vannoverflata utsettes så for en konstant lufttemperatur $T_0 = -10\,^\circ\mathrm{C}$ og begynner å fryse.

Fryseprosessen starter ved tidspunkt $t = 0$. Frysingen går så langsomt at en kan regne temperaturfordelingen i isen som gitt av den stasjonære (tidsuavhengige) varmeledningslikningen. La koordinaten z = høyde over grenseflata is/luft (negativ z under grenseflata). Hva er temperaturprofilet $T = T(z)$ gjennom isen når istykkelsen er ℓ ?

Vis deretter at istykkelsen ℓ øker med tida t som

$$\ell(t) = C\sqrt{t},$$

og finn et uttrykk for proporsjonalitetskonstanten C.

Tips og antakelser:
Varmemengden som må transporteres fra frysesonen til lufta for at istykkelsen skal øke med $\mathrm{d}\ell$ er:

$$\mathrm{d}Q = l_{\mathrm{sm}}\, A\, \mathrm{d}\ell,$$

der l_{sm} er smeltevarmen pr. volumenhet for is og A er arealet av isen. En kan se bort fra volumutvidelsen ved frysing. En kan også se bort fra varmekapasiteten til is, dvs. det er varmetransport kun pga. fryseprosessen. Varmeledningsevnen for is er κ.

______________********************______________

Noen formler og tallverdier kan du få bruk for. Du må selv tolke symbola.

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

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

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

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

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

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

Maxwellfordeling:

$$f(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} \exp\left\{\frac{-mv^2}{2kT}\right\} 4\pi v^2, \qquad \langle v\rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}, \qquad \langle v^2\rangle = \frac{3kT}{m}$$

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

Fri veglengde:

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

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

Fotongass, Stefan-Boltzmanns lov: $U = Vu(T) = VaT^4, \quad p = \frac{a}{3}T^4, \quad j = \sigma T^4$

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	$\frac{1}{b^3}$

$R = 8,315$ J mol^{-1}K^{-1} $\qquad \sigma = a\cdot\frac{c}{4} = \frac{\pi^2}{60}\frac{k^4}{\hbar^3 c^2} = 5,670\cdot 10^{-8}$ W m^{-2}K^{-4}

$N_A = 6,02\cdot 10^{23}$ mol^{-1} $\qquad a = \frac{\pi^2}{15}\frac{k^4}{\hbar^3 c^3} = 7,565\cdot 10^{-16}$ J m^{-3}K^{-4}

$k = 1,38\cdot 10^{-23}$ J K^{-1} $\qquad h = 6,63\cdot 10^{-34}$ Js

0 °C = 273,15 K. $\qquad$ 1 atm = 760 mmHg = 760 torr = 1,0133 $\cdot 10^5$ N/m^2.