NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET,
INSTITUTT FOR FYSIKK

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

NOREGS TEKNISK-
NATURVITENSKAPELEGE UNIVERSITET,
INSTITUTT FOR FYSIKK

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

EKSAMEN I EMNE SIF4016 FYSIKK 4
EKSAMEN I EMNE SIF4016 TERMISK FYSIKK
Mandag 15. mai 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.

Ved bedømminga blir i utgangspunktet kvar deloppgåve a,b, etc. vektlagt like mye (totalt 9 vekttal). Ved numeriske svar må du gi både talverdi og eining. Oppgitte formlar på siste side.

Oppgave 1.

`N` mol oksygengass gjennomgår en kretsprosess som er satt sammen av tre prosesser:

1-2. Fra utgangstilstanden (p_1, V_1, T_1) komprimeres gassen isotermt til tilstanden (p_2, V_2, T_1).

2-3. Gassen varmes opp ved konstant volum til temperaturen T_3 og trykket p_3.

3-1. Gassen ekspanderer adiabatisk tilbake til starttilstanden (p_1, V_1, T_1).

Du kan anta at oksygengass er ideell gass og at alle prosessene er reversible. Oksygengass er diatomær.

Oppgåve 1.

`N` mol oksygengass gjennomgår ein kretsprosess som er sett saman av av tre prosessar:

1-2. Frå utgångstilstanden (p_1, V_1, T_1) komprimerast gassen isotermt til tilstanden (p_2, V_2, T_1).

2-3. Gassen varmast opp ved konstant volum til temperaturen T_3 og trykket p_3.

3-1. Gassen ekspanderer adiabatisk tilbake til starttilstanden (p_1, V_1, T_1).

Du kan rekne at oksygengass er ideell gass og at alle prosessane er reversible. Oksygengass er diatomær.

---

a) For prosess 1-2, finn endring i gassens:

i) indre energi ΔU,
ii) entalpi ΔH,
iii) entropi ΔS,
iv) Gibbs fri energi ΔG.

Uttrykk svara med T_1, V_1, V_2, samt `N` og R.

b) Skisser kretsprosessen i et/eit p-V-diagram. Finn trykket p_3 og temperaturen T_3 uttrykt ved T_1, V_1, V_2, samt $\mathtt{N}$, R og $\gamma = C_p/C_V$.

c) Finn arbeidet som gassen utfører pr. omløp, uttrykt ved T_1, T_3, V_1, V_2, samt $\mathtt{N}$, R og γ.

d) Skisser kretsprosessen i et/eit T-S-diagram og finn for prosess 2-3 uttrykk for $T(S)$ der bl.a. T_1 og S_2 inngår (S_2 = entropien i tilstand 2).

Oppgave 2. / Oppgåve 2.

Gitt forholdet $\xi = \dfrac{C_V T}{pV}$, der varmekapasiteten ved konstant volum inngår.

* Finn verdien for ξ for en/ein monoatomær ideell gass.
* Finn verdien for ξ for et/eit elektromagnetisk strålingshulrom (fotongass).

Oppgave 3.

Et kammer inneholder n gasspartikler pr. volumenhet. Gassen er i termisk likevekt ved temperatur T. Støttallet mot veggen, pr. tids- og flateenhet, for partikler med fart i intervallet $\langle v, v + \mathrm{d}v\rangle$ er gitt ved

$$\frac{n}{4} v f(v)\, \mathrm{d}v,$$

der $f(v)$ er Maxwellfordelingen.

Gjennom et hull i veggen slipper det ut gasspartikler. Hullet er så lite at det ikke forstyrrer den termiske likevektsfordelingen inni kammeret. Finn uttrykk for fordelingsfunksjonen for farten til partiklene som slipper ut. Vis deretter at at midlere kinetisk energi for partiklene som slipper ut er $E = 2kT$.

Oppgåve 3.

Eit kammer inneheld n gasspartiklar pr. volumeining. Gassen er i termisk likevekt ved temperatur T. Støttalet mot veggen, pr. tids- og flateeining, for partiklar med fart i intervallet $\langle v, v + \mathrm{d}v\rangle$ er gitt ved

$$\frac{n}{4} v f(v)\, \mathrm{d}v,$$

der $f(v)$ er Maxwellfordelinga.

Gjennom eit hull i veggen slepper det ut gasspartiklar. Hullet er så lite at det ikkje forstyrrer den termiske likevektsfordelinga inni kammeret. Finn uttrykk for fordelingsfunksjonen for farten til partiklane som slepper ut. Vis deretter at midlere kinetisk energi for partiklane som slepper ut er $E = 2kT$.

Oppgave 4.

To varmereservoar har termisk kontakt gjennom et gasslag med tverrsnitt $A = 40,0 \cdot 10^{-3}$ m^2 og lengde (avstand mellom reservoarene) $l = 50$ mm. Du kan anta at varmetransport mellom reservoarene bare skjer ved varmeledning i gasslaget og at det ikke er varmetransport til omgivelsene. Det ene reservoaret kan regnes uendelig stort og holder temperatur $T_\mathrm{v} = 100\,°\mathrm{C}$ mens det andre reservoaret består av en is/vann-blanding ($T_\mathrm{k} = 0\,°\mathrm{C}$) med tilstrekkelig stor ismengde.

Varmeledningsevnen til gassen kan i a) og b) settes konstant og lik $\kappa = 0,100\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K \cdot m}}$. Smeltevarmen for is er $l_\mathrm{sm} = 335$ kJ/kg.

Oppgåve 4.

To varmereservoar har termisk kontakt gjennom eit gasslag med tverrsnitt $A = 40,0 \cdot 10^{-3}$ m^2 og lengde (avstand mellom reservoara) $l = 50$ mm. Du kan rekne at varmetransport mellom reservoara berre skjer ved varmeleiing i gasslaget og at det ikkje er varmetransport til omgivnadene. Det eine reservoaret kan reknast uendeleg stort og held temperatur $T_\mathrm{v} = 100\,°\mathrm{C}$ mens det andre reservoaret består av ein is/vann-blanding ($T_\mathrm{k} = 0\,°\mathrm{C}$) med tilstrekkeleg stor ismengde.

Varmeleiingsevna til gassen kan i a) og b) setjast konstant og lik $\kappa = 0,100\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K \cdot m}}$. Smeltevarmen for is er $l_\mathrm{sm} = 335$ kJ/kg.

---

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

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

c) Til nå har du brukt konstant verdi for κ. I det tilfellet er temperaturgradienten i gassen lineær og temperaturen midt i gasslaget ($z = l/2$) er $50\,°\mathrm{C}$. Dersom κ i gassen varierer med temperaturen etter den kjente formelen for ideell gass

$$\kappa = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{kT}{\pi m}} \cdot \frac{C_V}{\sigma},$$

hva blir da temperaturen midt i gasslaget? C_V, m og σ i formelen har konstant verdi.

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

Nokon av desse formlane kan du få bruk for. Du må sjølv 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:

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

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

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

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