NTNU
INSTITUTT FOR FYSIKK

Fagleg kontakt under eksamen:
Professor Johannes Falnes, 735-93452

Eksamen i emne 74055 FYSIKK OG ENERGI

Tysdag 2. mai 2000
Tid: kl. 09.00-14.00

Hjelpemiddel:

B1 - Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i samsvar med liste utarbeidd av NTNU er tillatt.
Ingen trykte eller handskrivne hjelpemiddel er tillatt.

Sensuren kan ventast i veke 21

Det vil kanskje bli bruk for nokre av konstantane og formlane nedanfor, som kandidaten sjølv må tolka:

$e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K	$R = 8{,}31$ J/(mol K)	$g = 9{,}81$ m/s^2
$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Wm^{-2}K^{-4}	$T\lambda_{max} = 2{,}90 \cdot 10^{-3}$Km	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Js	$E_{g,Si} = 1{,}11$ eV
$m_S = 1{,}99 \cdot 10^{30}$ kg	$m_J = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg	$R_J = 6{,}38 \cdot 10^6$ m	$L_{SJ} = 1{,}50 \cdot 10^{11}$ m

$\eta_C = 1 - T_L / T_H$

$E = (U - U_0) + p_0(V - V_0) - T_0(S - S_0)$

$M_\nu = [\varepsilon(\nu)\, 2\pi h \nu^3 / c^2] \,/\, [\exp(h\nu/kT) - 1]$

$p_0 V_0 / T_0 = pV / T = nR$

$I = I_0\, [\exp(eV/AkT) - 1] - I_L$

$p_0 V_0^\gamma = p V^\gamma$

$\gamma = C_p / C_v$

$C_p - C_v = R$

$P_0 = (1/2) \rho A_1 u_0^3$

$P_T = 4a(1-a)^2 P_0$

$\omega^2 = gk$

$\omega^2 = ghk^2$

$(d/dx)[x/2 + (1/(4a)) \sin(2ax)] = \cos^2(ax)$

$(d/dx)[x/2 - (1/(4a)) \sin(2ax)] = \sin^2(ax)$

$(d/dx)([1/(2-u)]\, x^{2-u}) = x^{1-u}$

$(d/dx)[\ln(x)] = 1/x$

$1 + a + a^2 + a^3 + \cdots = 1/(1-a)$

Oppgåve 1.

(a)
Utlei eit uttrykk for det maksimale arbeidet (eksergien) ΔW_n som kan utvinnast frå eit system som skifter frå ein starttilstand med indre energi U_1, volum V_1 og entropi S_1 til ein ny tilstand med tilsvarande tilstandsvariable

$$U_2 = U_1 + \Delta U,\ V_2 = V_1 + \Delta V \text{ og } S_2 = S_1 + \Delta S.$$

Temperaturen T_0 og trykket p_0 i omgjevnaden omkring systemet er konstante. Vi ser bort frå diffusjon.

(b)
Som eit enkelt eksempel ser vi på ein stein med starttemperatur T_1 som er ulik sluttemperaturen T_0 som steinen får etter at han har oppnådd termisk likevekt med omgjevnaden. Uttrykk eksergien ved T_1, T_0 og C, der C er varmekapasiteten til steinen.

(c)
Som neste eksempel ser vi på n mol av ein ideell gass, som i starten har temperatur T_1 og volum V_1. Omgjevnaden har konstant temperatur T_0 og trykk p_0. Ved termisk likevekt vil den ideelle gassen ha temperatur T_0 og volum V_0. Finn det maksimale nyttige arbeidet (eksergien) uttrykt ved T_1, T_0, V_1, V_0, n, R og C_v, der R er den universelle gasskonstanten, og C_v er den ideelle gassen sin (temperaturuavhengige) molare varmekapasitet ved konstant volum.
[Hint: Oppfatt denne prosessen som ein to-stegs-prosess, der det første steget går adiabatisk, $(T_1, V_1) \rightarrow (T_x, V_0)$, og det andre ved konstant volum, $(T_x, V_0) \rightarrow (T_0, V_0)$.]

(d)
Vis at eksergien funnen under (c) ikkje kan bli negativ.

(e)
Føreslå ein definisjon av eksergiverknadsgrad, også for ein fleirstegsprosess. I eit kolfyrt kraftverk kan ein tenkja seg fleire steg. I det første steget, der kolet brenn ved atmosfærisk trykk, får brennproduktet (røyken) ein temperatur $T_1 = 1200$ K. Vis, på grunnlag av resultat frå punkt (a), at det differensielle arbeidet, for ein reversibel prosess under konstant trykk, kan skrivast som

$$\Delta W_n = -C_p\,(1 - T_0/T)\,\Delta T$$

Bruk dette til å finna eksergiverknadsgraden ved forbrenninga av kol, dersom vi går ut frå at varmekapasiteten C_p er uavhengig av temperaturen. Den ytre temperaturen er $T_0 = 300$ K.

Oppgåve 2.

(a)
Skriv opp namn og SI-eining for kvar av dei fire fysiske storleikane som går inn i formelen $M = \varepsilon\sigma T^4$. Nemn kort kor stor ε er for ulike material. Vis at varmestraumen pr. areal pga. stråling mellom to parallelle plane flater (som er endelaust store) kan skrivast som

$$q_{\text{prikk}} = \varepsilon_{12}\,\sigma(T_1^{\,4} - T_2^{\,4})$$

der T_1, T_2 og ε_1, ε_2 representerer temperatur og emissivitet for kvar av dei to flatene. Finn eit uttrykk for den resulterande "effektive" emissiviteten ε_{12}. Forenkla dette uttrykket for spesialtilfella

(i) $\varepsilon_1 \to 0$ og $\varepsilon_2 >> \varepsilon_1$
(ii) $\varepsilon_1 \to 1$
(iii) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$.
Kommenter dette.

(b)
Gå ut frå at dei to parallelle flatene er vertikale, og at avstanden b mellom dei er liten nok ($b < b_c$) til at vi kan sjå bort frå konveksjon ved varmeoverføringa. (Gi ein tilnærma verdi på b_c.) Då er det nok å ta omsyn berre til varmeleiing og stråling. Rommet mellom flatene er luftfylt, og vi skal her gå ut frå at varmeleiingsevna for luft kan setjast til $\lambda = 0.025$ W/(Km). No skal vi gå ut frå at $\Delta T / T_m << 1$, der

$$\Delta T = T_2 - T_1 \qquad \text{og} \qquad T_m = (T_2 + T_1)/2\,.$$

Utlei eit uttrykk, lineært i ΔT, for varmestraumen pr. areal. Finn også numerisk verdi når $T_m = 280$ K, $\Delta T = 10$ K, $b = 1.25$ cm og $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.9$.

(c)
Bruk resultata for å drøfta varmeovergangen i doble vindauge. Finn U-verdien (k-verdien) for eit luftfylt dobbelt vindauge (med fysiske storleikar som nemnt ovanfor) når vi går ut frå at varmeovergangskoeffisientane er $h_i = 7.7$ W/(Km^2) og $h_u = 23$ W/(Km^2) ved innvendig og utvendig glasflate, respektivt. Sjå bort frå varmemotstand i sjølve glaset.

(d)
Gjer greie for korleis varmeisolasjonen i eit vindauge kan forbetrast. Rekna ut U-verdien for eit dobbelt vindauge der vi, i motsetning til i tilfella (b) og (c) ovanfor, har $\lambda = 0.009$ W/(Km) og $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.15$.

Oppgåve 3.

(a)
Det er gitt ei sinusforma plan havbølgje som forplantar seg med gruppefarten

$$c_g = gT/(4\pi)$$

og fasefarten $c_f = 2\,c_g$. Forklar kva symbola g og T står for. Finn bølgjelengda L uttrykt ved g og T. Den middels potensielle energien E_p pr. areal-eining av havflata ($[E_p]$=J/m^2) er

$$E_p = KA^2$$

der A er amplituden på bølgja og K er ein proporsjonalitetskoeffisient. Utlei eit uttrykk for K.

(b)
Utlei eit uttrykk for den transporterte effekten J pr. breiddeining av bølgjefronten ($[J]$=W/m), når det er gitt at den energien som bølgja lagrar, er likt fordelt mellom potensiell energi og kinetisk energi. Rekn ut talverdi for J når $T = 9{,}0$ s og $A = 1{,}00$ m. Massetettleiken for sjøvatn kan setjast til $\rho = 1020$ kg/m^3.

(c)
Gjer greie for korleis den paradoksale påstanden "å absorbera ei bølgje vil seia å generera ei bølgje" kan brukast til å forklara opptaket av bølgjeenergi i eit bølgjekraftverk. Forklar samstundes kvifor bølgjeabsorbatoren må svinga med optimal fase og optimal amplitude dersom det skal bli absorbert maksimalt med energi frå innkomande bølgjer.