

Institutt for Fysikk

Eksamensoppgave FY6014 Varmelære og miljøfysikk V2020

Faglig kontakt under eksamen: Pawel Sikorski

Tlf.: 98486426

Eksamensdato: 27.05.2020

Eksamenstid (fra-til): **27. mai kl. 09.00 – 28. mai kl. 10.00.**

Tillatte hjelpemidler: Alle, men besvarelsen skal være et individuelt arbeid.
Nødvendige faktastørrelser som ikke er oppgitt må kandidaten selv finne fram til.

Målform/språk: Bokmål

Antall sider: 3

Antall sider vedlegg: 0

Annen informasjon:

Besvarelsen leveres i Inspira. Du velger selv om du vil skrive på papir, pc eller en kombinasjon av dette, men det innleverte dokumentet skal være 1 pdf-fil. Dersom besvarelsen din består av både word-dokument og håndskreven besvarelse, kan du ta bilde av de(n) håndskrevne delen(e) og lime inn i word-dokumentet. Pass på at eventuelle bilder er av god og lesbar kvalitet. Alternativt kan du skrive ut word-dokumentet og skanne det sammen med den håndskrevne besvarelsen til én pdf-fil. Dersom du får problemer med innleveringen, kan alle dokumentene sendes på e-post til videre@ntnu.no men vi ønsker fortrinnsvis at du samler besvarelsen til 1 pdf-fil.

Kontrollert av:

Dato

Sign

Oppgave 1 (Vekt 20 %)

En svart flate med emisjonsevne $\epsilon = 1$ settes i sollyset og at det faller vinkelrett inn mot flaten. Anta at den totale solstrålingen er $j = 0.8 \text{ kW/m}^2$. Beregn likevektstemperatur T til platen dersom den eneste mekanismen for varmetap er stråling og baksiden er isolert slik at vi bare har tap fra forsiden. Anta at omgivelsene (himmelen) fungerer som en svart stråler med temperaturen $T_0 = 250\text{K}$

Oppgave 2 (Vekt 20 %)

Vi antar at Venus er i termisk likevekt med solstrålingen. Betrakt Venus som et fullstendig sort legeme.

A) Beregn solarkonstanten på Venus

B) Beregn overflatetemperatur på Venus hvis vi antar at det finnes ikke atmosfæren på Venus.

C) Beregn overflatetemperatur på Venus hvis vi antar at Venus har atmosfæren som gi maksimal drivhuseffekt

D) Hva mener vi med termisk likevekt med solstrålingen? Hva med varmetransport mellom overflate og planetens indre? Forklær.

*Solarkonstanten på jorda er $S=1362 \text{ Wm}^{-2}$; $R_{\text{sol}}=6.96\text{E}+08 \text{ m}$; $R_{\text{jord}}=6.31\text{E}+06 \text{ m}$;
 $R_{\text{sol-jord}}=1.50\text{E}+11 \text{ m}$; $R_{\text{sol-venus}}=1.08\text{E}+11 \text{ m}$; $T_{\text{sol}}=5778\text{K}$*

Oppgave 3 (Vekt: 20 %)

Når vann fordamper, brukes en del av fordampningsvarmen til å gjøre arbeid mot det ytre trykket. Hvor stor del av fordampningsvarmen går med til dette arbeidet ved 100°C ? Molar fordampningsvarme for vann ved 100°C er $L_v = 41 \text{ kJ/mol}$. Anta at vanndampen er en ideell gass.

Massetetthet til vann i væske form: $\rho_v = 1000 \text{ kg m}^{-3}$; gasskonstant: $R = 8.31 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$; $p_0 = 1.05 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Hint: Tenkt på fordampning som en ekspansjonprosess under konstant trykk.

Oppgave 4 (Vekt: 20 %)

A) Beskriv forskjellen mellom adiabatisk and isotermisk prosess. Hva kan vi lære om disse to prosessene fra termodynamikkens første lov? Forklær.

1kg luft med temperatur 15 °C og trykk $p_1 = 1 \text{ atm}$ komprimeres adiabatisk til $p_2 = 6 \text{ atm}$.

B) Finn sluttemperaturen og arbeidet som gjøres i prosessen

C) Luften avkjøles videre under et konstant trykk p_2 inntil temperaturen igjen er 15 °C. Hvor mye varme avgis, og hvor mye arbeid utføres på gassen i denne prosessen.

Anta at luften et ideell toatomig gass med molekylvekt på **28.9647 g/mol**.

Hint: $Q_p = nc_p\Delta T$ og $Q_p = Q_V + W$

Oppgave 5 (Vekt: 20 %)

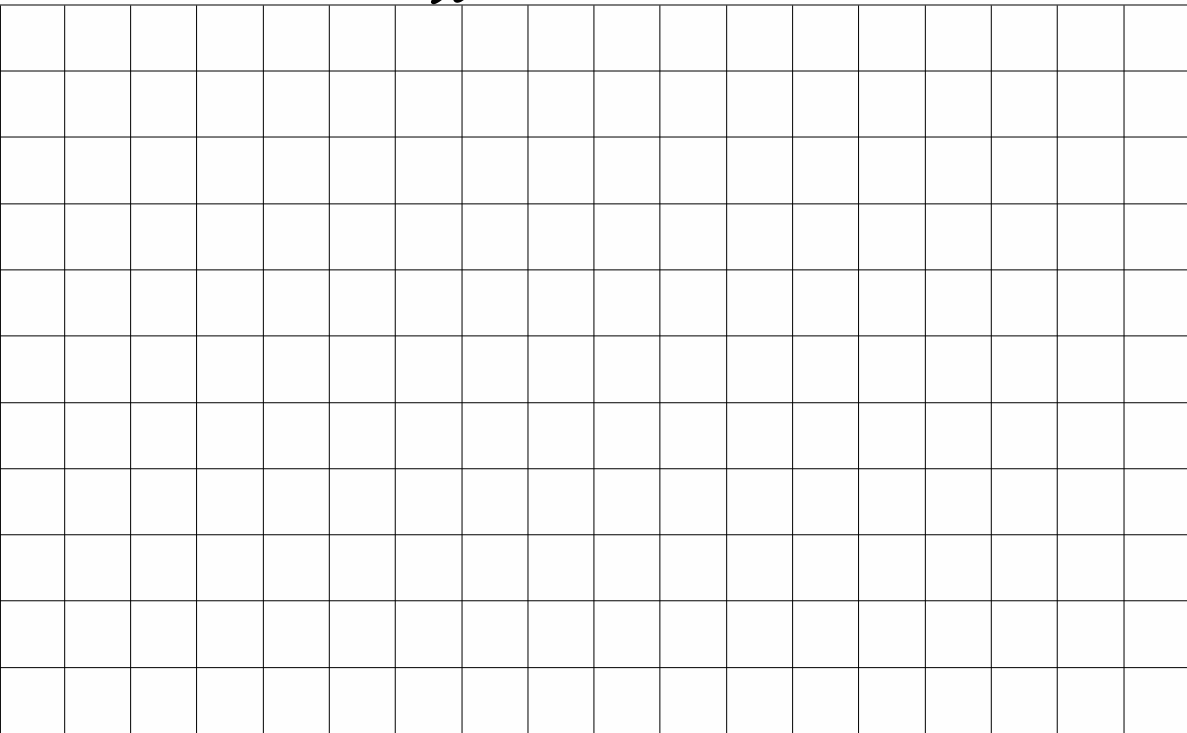
A) Hva er varmekapasitet? Hvorfor er varmekapasitet ved konstant volum ikke de same som varmekapasitet ved konstant trykk? Forklær.

B) 1 kg gass ekspanderer reversibelt og adiabatisk. I løpet av prosessen faller temperaturen fra 240 °C til 115 °C samtidig som volumet fordobles. Gassen gjør 90kJ arbeid i prosessen. Finn verdiene av c_p og c_v for gassen og gassen molekylvekt.

FY 6014 V2020

Eksamen

LF : 29.05.2020



OPP Gawe 1:

$$T = 250K$$



j_0 - energi strom per areal fra solen.

j_p - energi strom fra plata.

$$\downarrow j_s = 0.8 \text{ kW/m}^2$$

energi strom fra sol.



$$T = ?$$

$$\epsilon = 1$$

$$j_p = j_0 + j_s$$

$$j_s = j_p - j_0 = j_N$$

STEFAN-BOLTZMANN
LAW

$$j = \sigma T^4$$

$$T_0 = 250K$$

Netto energi strom

$$\Phi_N = A \epsilon \sigma (T^4 - T_0^4)$$

j_N - netto energi strom per areal

$$j_N = \frac{\Phi_N}{A} = \epsilon \sigma (T^4 - T_0^4)$$

$$j_N = j_s = 0.8 \text{ kW/m}^2$$

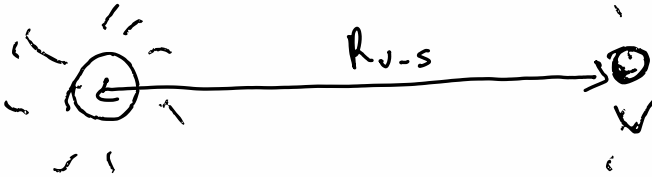
$$\frac{j_s}{\epsilon \sigma} + T_0^4 = T_p^4$$

$$\underline{\underline{T_p = 367K}}$$

Oppgave 2

A)

$$A = 4\pi R_{V-S}^2$$



S- Solarkonstanten

$$S = \frac{P_s}{4\pi R_{V-S}^2}$$

P_s = total energi strømt fra solen

$$P_s = 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4$$

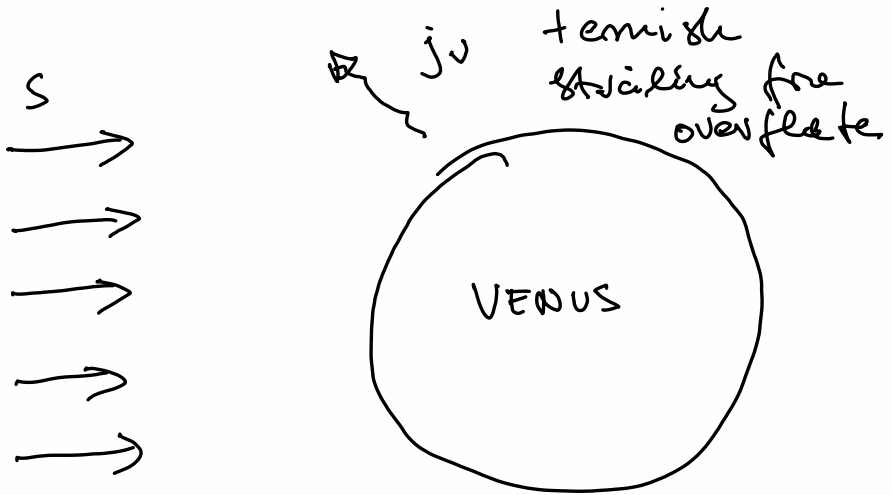
T_s - solas overflate temp.

R_s - Solas R.

$$S = \frac{4\pi R_s^2 \sigma T_s^4}{4\pi R_{V-S}^2} =$$

$$= \frac{R_s^2}{R_{V-S}^2} \sigma T_s^4 = \underline{\underline{2592 \text{ W m}^{-2}}}$$

③



Gjennomsnittlig innstrålings-
tetthet

$$E_v = \frac{\pi r_v^2 \cdot S}{4\pi r_v^2} = \frac{1}{4} S$$

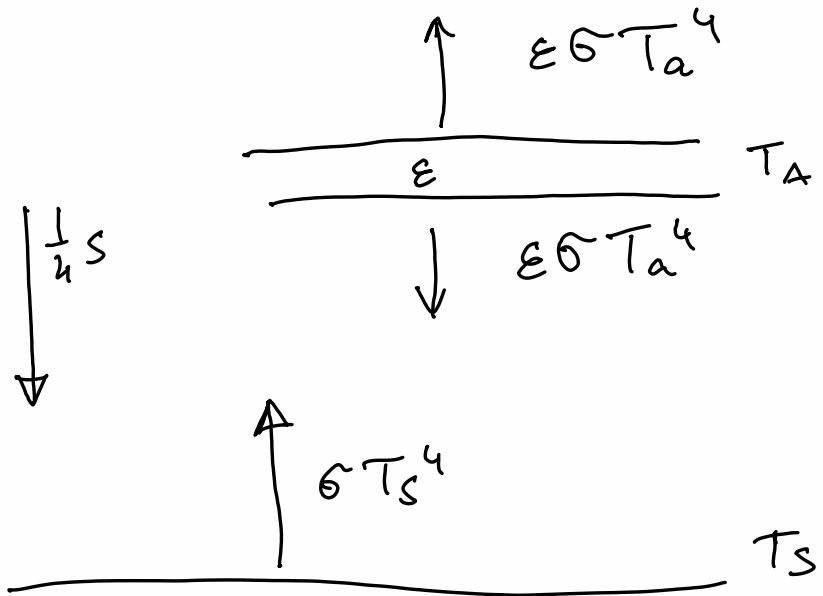
$$E_v = \frac{2592}{4} \text{ W m}^{-2} = 0.648 \text{ kW m}^{-2}$$

$$j_v = E_v \quad \hat{j}_v = \epsilon \sigma T_v^4$$

$$\frac{j_v}{\epsilon \sigma} = T_v^4 \quad T_v = \sqrt[4]{\frac{E_v}{\sigma}}$$

$$T_v = 328 \text{ K} = 55^\circ \text{C}$$

(C)



For maximal greenhouse effect.
The idealised greenhouse effect
model:

$$T_S = \sqrt[4]{\frac{8(1-A)}{4\epsilon}} \sqrt[4]{\frac{1}{1-\frac{\epsilon}{2}}}$$

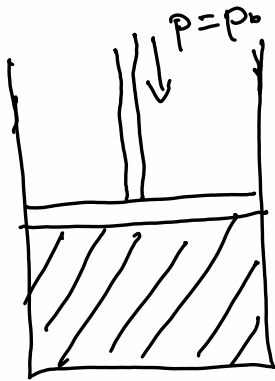
$$A=0$$

$$\epsilon=1$$

$$\sqrt[4]{\frac{1}{1-\frac{\epsilon}{2}}} \approx 1.19$$

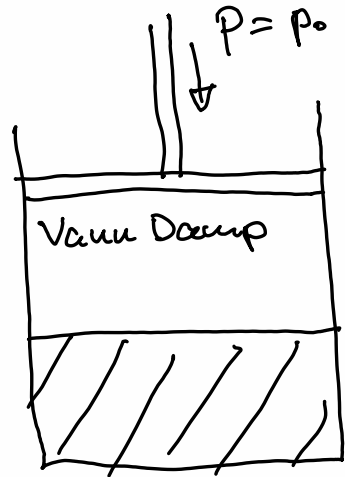
$$T_S^{\text{thu}} = T_S \cdot 1.19 = 328\text{K} \cdot 1.19 = \underline{\underline{390\text{K} = 117^\circ\text{C}}}$$

Oppgave 3



+ Q

$$T = 100^\circ\text{C} \\ = 373\text{K}$$



$$\Delta U = U_{\text{DAMP}} - U_{\text{VANN}}$$

h_{f} - molær fordampningsvarme

ΔU for 1 mol vann:

$$V_{\text{VANN}} = 18 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ kg}} =$$

$$= 18 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{DAMP}} = \frac{nRT}{p_0} = \frac{1 \cdot 8.31 \cdot 373 \text{ K}}{1.05 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

$$V_{\text{DAIMP}} = 0.0295 \text{ m}^3 \quad \text{for 1 mol}$$

$$V_{\text{VANN}} = 18 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad \text{--- u ---}$$

$$\Delta U \approx V_{\text{DAIMP}}$$

Arbeid ved konstant trykk

$$W = p \cdot \Delta U = p_0 \cdot \frac{nRT}{p_0} =$$

$$= nRT$$

W_m - arbeid per mol

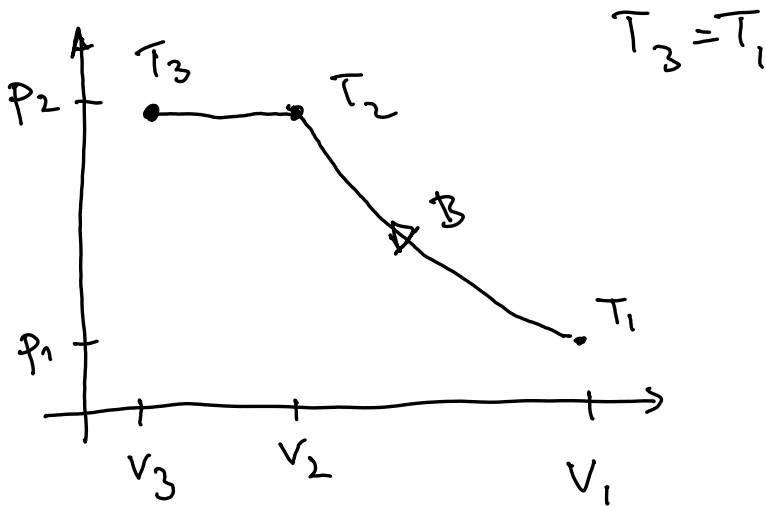
$$W_m = \frac{W}{n} = RT$$

$$W_m = 3.1 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1}$$

$$L_f = 41 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1}$$

$$\boxed{\frac{W_m}{L_f} \approx 8\%}$$

Oppgave 4



B) Adiabatic process $Q=0$

$$PV^\gamma = \text{const}$$

$$T P^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{const}$$

Luft: toatomig gass med $M=29$ g/mol

$\gamma = 1.4$ for toatomig gass

$$T_1 P_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_2 P_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$T_1 = 15^\circ\text{C} = 288\text{K}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{6}$$

$$T_2 = 288 \cdot \left(\frac{1}{6} \right)^{\frac{-0.4}{1.4}}$$

$$= 480\text{K} = \underline{\underline{208^\circ\text{C}}}$$

$$\Delta T = 192\text{K}$$

Work:

$$W = \frac{1}{\gamma-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2) \quad \text{or}$$

$$W = -n C_v \Delta T$$

$$n = 34.5\text{mol}$$

(see next page)

$$C_v = \frac{5}{2} R$$

$$\Delta T = 288\text{K} - 480\text{K} = 192\text{K}$$

$$W = 34.5 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8.31 \cdot 192\text{K} = -138\text{kJ}$$

c) $Q = ?$

$$Q_p < 0$$

prozessieren er und an
constant ~~frigate~~

$$Q_p = n C_p \Delta T \quad C_p = \frac{7}{2} R$$

n - amount mol i 1 kg luft

$$n = 1 \text{ kg} \cdot \frac{1}{29 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} = 34.5 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} Q_p &= -34.5 \text{ mol} \cdot \frac{7}{2} \cdot 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 192 \text{ K} \\ &= \underline{\underline{-19.2 \times 10^5 \text{ J}}} \end{aligned}$$

W - work done on the system

$$Q_p - Q_v = W$$

$$Q_v = n C_v \cdot \Delta T \quad Q_p = n C_p \Delta T$$

$$W = n \cdot \Delta T (C_p - C_v) = n R \Delta T$$

$$W = -34.5 \cdot 8.31 \cdot 192 \text{ K} =$$

$$= -5.5 \times 10^4 \text{ J} = \underline{\underline{-55 \text{ kJ}}}$$

Eller:

$$W = p_2 \cdot \Delta V \quad V_2 = \frac{n R T_2}{p_2}$$

$$V_3 = \frac{n R T_3}{p_3}$$

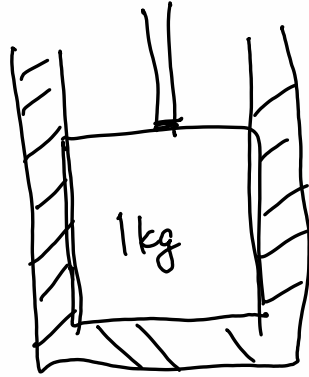
$$p_2 = p_3$$

$$W = p_2 \left(\frac{n R T_3}{p_3} - \frac{n R T_2}{p_2} \right) =$$

$$= n R \Delta T = 34.5 \text{ mol} \cdot 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (288 \text{ K} - 480 \text{ K}) = -55 \text{ kJ}$$

Oppgave 5

B)



$$Q = 0$$

Adiabatic process.

$$T_1 = 240^\circ\text{C} = 513\text{K}$$

$$V_2 = V_1 \cdot 2$$

$$T_2 = 115^\circ\text{C} = 388\text{K}$$

$$W = 90\text{ kJ}$$

Work done by the system.

$$\Delta U = Q - W$$

$$W > 0$$

$$\Delta U = -90\text{ kJ}$$

$$T_2 < T_1$$

Adiabatic process

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$M_w = ?$$

$$C_p = ?$$

$$C_v = ?$$

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 (2 \cdot V_1)^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = 2^{\gamma-1}$$

$$\ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right) = (\gamma-1) \ln 2$$

$$\ln\left(\frac{513\text{K}}{388\text{K}}\right) \cdot \frac{1}{\ln 2} = \gamma-1$$

$$\gamma = 1.4 \quad \text{Toothforming gas}$$

$$\frac{C_p}{C_v} = \gamma \quad \frac{C_v + R}{C_v} = 1.4$$

$$C_v + R = 1.4 \cdot C_v$$

$$C_v - 1.4 C_v = -R$$

$$C_v (1.4 - 1) = R$$

$$C_v = \frac{R}{0.4} = 2.5 R = \frac{5}{2} R$$

$$C_p = \frac{7}{2} R$$

$$W = -n C_v (T_2 - T_1)$$

$$W = -n C_v (T_2 - T_1)$$

$$n = \frac{-W}{C_v \cdot \Delta T}$$

$$T_2 < T_1$$

$$n = \frac{90 \times 10^3 \text{ J}}{\frac{5}{2} \cdot 8.31 \cdot 125} = 34.7 \text{ mol}$$

$$M_w = \frac{1000 \text{ g}}{34.7 \text{ mol}} = 28.8 \text{ g/mol}$$

$$\text{N}_2 (M_w = 28 \text{ g/mol})$$

oder Luft

$$(M_w = 28.9 \text{ g mol}^{-1})$$

