

EKSAMEN I BIT 390 – Energifysikk
VARIGHET: 9.00 – 13.00 (4 timer).
DATO: 25/2 2011
HJELPEMIDLER: Karl Rottmann: *Matematisk formelsamling*
Godkjent enkel lommekalkulator
OPPGAVESETTET: 3 oppgaver på 3 sider



Hvert delspørsmål i de to oppgavene teller likt, og de fleste kan besvares uavhengig av løsningen på andre delspørsmål.

Oppgitt: $1\text{år} = 31.6 \cdot 10^6 \text{ s}$.

$$1\text{MeV} = 1.60 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$\text{Solarkonstanten: } S_0 = 1367 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{Stefan-Boltzmanns konstant: } \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4.$$

OPPGAVE 1:

I tropiske strøk forsøker man å utnytte den store temperaturforskjellen mellom havoverflaten og dyphavet til å drive kraftverk med varmeenergien i havvannet. Rundt Nauru i Stillehavet er den gjennomsnittlige overflatetemperatur $T_H = 28^\circ\text{C}$, mens temperaturen på 1 000 m dyp er $T_L = 4^\circ\text{C}$.

- En varmekraftmaskin leverer effekten $P = \dot{W}$ når den får tilført varmestrømmen \dot{Q}_H fra en varmekilde. Definer virkningsgraden η til en slik maskin. Vis også at for en varmekraftmaskin som utnytter en reversibel (Carnot) prosess er virkningsgraden gitt av $\eta_R = 1 - T_L/T_H$, der T_H er temperaturen til maskinens varmekilde og T_L temperaturen der den avgir sin spillvarme.
- Hvor stor volumstrøm med havvann, \dot{V} , må et havvarme-kraftverk på Nauru pumpe, dersom det skal produsere en effekt på $P = 200 \text{ MW}$ og drives av en reversibel varmekraftmaskin. Den spesifikke varmekapasiteten til havvannet er $c = 4.2 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ og tettheten er $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.
- Forklar kort hvorfor er det urealistisk å bruke η_R til å beregne virkningsgraden for et kraftverk i praksis.
- Definer 2.-lovs effektiviteten (eksergivirkningsgraden), ϵ . Finn den nødvendige volumstrømmen av havvann, \dot{V} , som kraftverket må pumpe, dersom det har 2.-lovs effektiviteten $\epsilon = 0.45$. Hva ville ϵ blitt dersom virkningsgraden var lik Curzon-Ahlborn-virkningsgraden η_{CA} ?

Virkningsgradene vi har beregnet så langt i denne oppgaven er alle for optimistiske. Hovedgrunnen er at det er meget vanskelig å unngå temperaturfall i de to varmevekslerne som overfører energien mellom havvannet og varmekraftmaskinen.

- e) Temperaturfall i varmevekslerne og forbindelsesrørene reduserer den effektive verdien av T_H med δT_H og øker T_L med δT_L . Finn virkningsgraden η for kraftverket vi har diskutert, dersom $\delta T_H = \delta T_L = \delta T = 4 \text{ K}$, mens ϵ for selve varmekraftmaskinen er uforandret.

OPPGAVE 2:

En sort plate skal brukes til å absorbere solstrålingen i en flatplatekollektor. Platen er fullstendig termisk isolert på baksiden og vi antar at den hverken reflekterer synlig lys eller varmestråling.

- a) Platen er i termisk likevekt med solstrålingen, som faller vinkelrett på den. Se først bort fra absorpsjon av solstrålingen i luften og varmetap fra platen til luften. Argumenter for at hvis antar at platen oppfører seg som et perfekt sort legeme, får den en absolutte temperatur, T , gitt av:

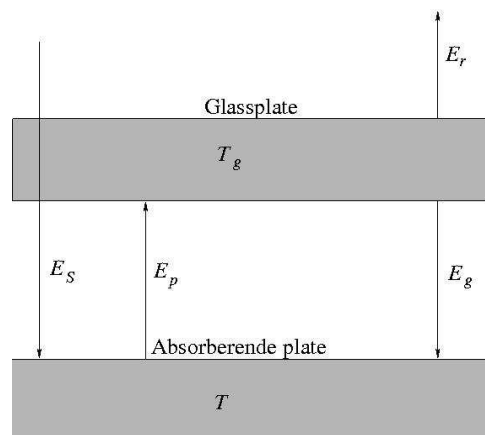
$$S_0 = \sigma T^4 .$$

Finn T . Angi svaret i Celsius-grader.

I resten av oppgaven skal vi anta at platen *ikke* er perfekt sort.

- b) Kirchhoffs lov for varmestråling sier at absorptansen (absorpsjonskoeffisienten), $\alpha(\nu)$, og emissiviteten (emisjonskoeffisienten) $\epsilon(\nu)$ for (elektromagnetisk) stråling fra et legeme er like. Her er ν frekvensen til strålingen. Hvorfor er likevel vanligvis den *effektive* absorptansen og emissiviteten for en solfanger forskjellige?
- c) Vi antar at overflaten absorberer all solstråling, men har en effektiv emissivitet $\epsilon = 0.10$ for varmestråling. Hva blir temperaturen på platen da dersom alle andre parametere er som før? Beregn også T dersom en andel $\beta = 0.2$ av solstrålingen absorberes i atmosfæren før den når platen. Finn endelig temperaturen dersom platen danner en vinkel $\theta = 45^\circ (\pi/4)$ med strålingsretningen.
- d) Du vil antagelig finne at temperaturene i forrige punkt er temmelig høye. Dette kan skyldes at vi ikke har tatt hensyn til varmetapet til luften utenfor platen. For å undersøke dette ser vi nå bort fra strålingstapet, og antar at all varmen fra platen i stedet avgis til luften med et varmeovergangstall (k -verdi) $k = 20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Hva blir temperaturen T til platen når lufttemperaturen er $T_0 = 20^\circ \text{C}$? Strålingen faller vinkelrett på platen, og β har samme verdi som i c) ovenfor. Hvilken konklusjon kan du trekke ved å sammenligne denne temperaturen med resultatet du fikk i c)? ovenfor

For å redusere varmetapet til luften setter vi en glassplate foran den absorberende platen, som skissert på figuren til høyre. På figuren er E_S solinnstrålingen, E_p strålingen fra den absorberende, E_r stråling fra glasset mot verdensrommet og E_g stråling fra glasset mot den absorberende platen. Vi antar at glasset slipper solstrålingen igjennom uten absorpsjon, men at det har en absorpsjonskoeffisient $\alpha_g = 0.85$ for varmestraling. For enkelhets skyld neglisjerer vi all refleksjon. Verdiene for ϵ og β er som før og $\theta = 0$.



- e) Forklar hvorfor vi har $E_r = E_g$. Angi absorpsjonskoeffisienten, α , til platen og emissiviteten, ϵ_g , til glasset. Sett opp ligningene for energibalansen både for den absorberende platen og for glassplaten med de antagelsene som er gjort, og vis at de kan skrives:

$$(1 - \beta)S_0 + \alpha_g \sigma T_g^4 = \epsilon \sigma T^4$$

$$\alpha \sigma T^4 = 2\epsilon_g \sigma T_g^4$$

Her er T_g glassets temperatur.

- f) Løs ligningene du har satt opp i forrige punkt og finn T og T_g . Sammenlign T_g med verdiene du fikk for T i både c) og d) ovenfor.

OPPGAVE 3:

Det er nylig offentliggjort målinger fra et hus i Kinsarvik som viste radioaktivitet som skyldes radon-isotopen ^{222}Rn på $A = 56\,000 \text{ Bq/m}^3$ [Bq=Becquerel]. Halveringstiden til ^{222}Rn er $t_{1/2} = 3.82$ dager.

- a) Sett opp loven for radioaktiv desintegrasjon. Hvis vi fyller en tank med inneluften fra dette huset, hvor lang tid tar det før aktiviteten i tanken er sunket til den anbefalte øvre grensen for radioaktiv aktivitet i et bolighus, $A_0 = 200 \text{ Bq/m}^3$?
- b) Når ^{222}Rn desintegrerer, innledes en kjede av desintegrasjoner, som i alt frigjør energien $\epsilon = 23.9 \text{ MeV}$ per radon-atom i løpet av en times tid. Lungene til et voksent menneske har typisk et samlet volum $V = 5.0 \text{ l} = 0.0050 \text{ m}^3$ og massen $m = 0.90 \text{ kg}$. Hvilken absorberte dose gir dette i lunger som er fylt med luft fra huset i Kinsarvik i et år. Angi svaret i enheten Gray (Gy). [1Gy= 1 J/kg.]
- c) Mesteparten av strålingen fra ^{222}Rn er alfa-stråling. Slik stråling har en (biologisk) vektfaktor $w_S = 20$. Hvilken ekvivalentdose tilsvarer da den absorberte dosen du har beregnet i forrige punkt? Sammenlign svaret med den anbefalte maksimale ekvivalentdosen for et voksent menneske, $E_m = 1.0 \text{ mSv}$. [1Sv= 1 J/kg.]