

UNIVERSITETET I OSLO

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Eksamen i: GEF1100

Eksamensdag: 11. oktober

Tid for eksamen: 15.00-18.00

Oppgavesettet er på 4 sider

Vedlegg: Ingen

Tillatte hjelpemidler: Kalkulator, Fysiske størrelser og enheter, og Karl Rottmans matematiske formelsamling

*Kontroller at oppgavesettet er komplett
før du begynner å besvare spørsmålene.*

Oppgaven består av 11 oppgaver som skal besvares med avkryssing.
OBS. det kan være mer enn et riktig svar pr. oppgave.

I tillegg er det en oppgave (oppgave 12) som skal besvares skriftlig på eget ark.

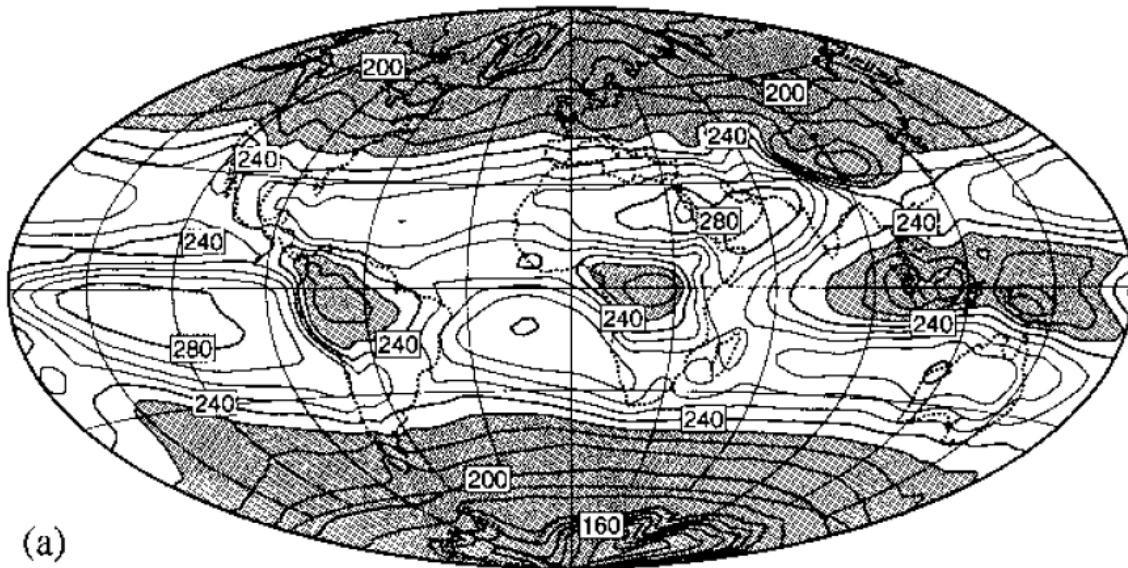
1. Hva beskriver Stefan-Boltzmanns lov?

- a) Netto utstråling av energi i form av stråling (Utstrålt langbølget stråling – absorbert kortbølget stråling) fra et svart legeme.
- b) Andelen av innkommende strålingsenergi som blir reflektert.
- c) Utstråling som funksjon av retning i rommet og bølgelengde (spektral intensitet eller radians)
- d) Totalt utstrålt vertikal flukstetthet av stråling (irradians) i W/m^2 fra et svart legeme
- e) Svekking og re-emisjon av langbølget stråling vertikalt i atmosfæren

2. Gjennom strålingsprosesser gjør drivhusgassene følgende:

- a) De varmer opp atmosfæren og bakken
- b) De varmer opp atmosfæren, men kjøler ned bakken
- c) De kjøler ned atmosfæren, men varmer opp bakken
- d) De avkjøler atmosfæren og bakken

3. Figuren viser utgående langbølget stråling ved atmosfærens yttergrense, årsmidlet. De relativt lave verdiene over nordlige S-Amerika, midtre deler av Afrika og Indonesia skyldes hovedsakelig



- a) Mye vegetasjon som gir lav bakkealbedo
- b) Mange dype bygeskyer med høye og kalde skytopper
- c) Mye vanndamp i nederste del av troposfæren
- d) Stor horisontal transport av varme bort fra disse områdene

4. Energibudsjettet ved bakken kan skrives

$$\frac{dE_s}{dt} = R_s + R_L^\downarrow - R_L^\uparrow - SH - LE - \Delta f_{eo}$$

Der R_s betegner netto kortbølget stråling (absorbert = innstrålt – reflektert), R_L^\downarrow og R_L^\uparrow er strålingsfluksene av langbølget stråling fra opp fra bakken og ned til bakken fra atmosfæren respektivt.

Midlet globalt over tid (f.eks et år eller mer) kan vi se bort fra lagrings- og transportleddene slik at vi har:

$$0 = R_s + R_L^\downarrow - R_L^\uparrow - SH - LE$$

Hvis vi rangerer disse leddene etter størrelsen (fra størst til minst) hvilken rangering er korrekt (globalt midlet)

- a) $R_s, R_L^\downarrow, R_L^\uparrow, SH, LE$
- b) $R_L^\uparrow, R_L^\downarrow, R_s, LE, SH$
- c) $R_s, R_L^\uparrow, R_L^\downarrow, LE, SH$
- d) $R_L^\uparrow, LE, R_s, R_L^\downarrow, SH$

5) For noen overflater varierer bakkens refleksivitet ("bakkealbedo") med bølgelengde i det kortbølgete. Hvilket/hvilke av følgende utsagn er riktige?

- a) For snø er refleksiviteten uavhengig av bølgelengde.
- b) For snø avtar refleksiviteten med bølgelengde fra synlig lys til nær infrarødt.
- c) For planter er refleksiviteten høyere i det nær-infrarøde enn i det synlige.
- d) For planter er refleksiviteten høyere i det synlige enn i det nær-infrarøde.
- e) For vannflater (innsjøer) er refleksiviteten høyere i det nær-infrarøde enn i det synlige.

6. Lufttrykket (p) og partialtrykket av vanndamp (e) endrer seg med høyden i atmosfæren. Utsagnene under gjelder den relative endringen med høyden, dvs. verdien i en viss høyde dividert med verdien ved bakken.

Hvilket/hvilke av følgende utsagn er riktige?

- a) e er konstant, mens p avtar med høyden.
- b) e avtar raskere enn p med høyden.
- c) p avtar raskere enn e med høyden.
- d) e øker med høyden, mens p avtar med høyden.
- e) Både e og p er proporsjonale med temperaturen, altså avtar de like raskt med høyden

7. Utgående langbølget stråling til verdensrommet er høyere i Arktis om vinteren (DJF) enn fra Antarktis om vinteren der (JJA). Hvorfor er det slik?

- a) Lavere bakketemperatur i Antarktis.
- b) Mindre skyer over Antarktis enn over Arktis
- c) Mer forurensing på nordlige halvkule.
- d) Fordi det er et ozonhull over Antarktis
- e) Fordi polarnatten i Antarktis er lengre fordi Jorda er nærmest Sola i januar.

8) Gjennom strålingsprosesser har skyene både en avkjølingseffekt og en oppvarmingseffekt. Nettoeffekten er

- a) Tilnærmet 0, globalmidlet
- b) En avkjøling, globalmidlet
- c) Positiv (oppvarmende) i områder med bare høye skyer
- d) Sterkt avkjølende i områder med høy bakkealbedo
- e) Kun avhengig av størrelsen på skydråpene

9) Innstrålingen på toppen av atmosfæren (\overline{Q}^{Day}) varierer med årstiden. Omtrent hvor mye varierer den med på våre breddegrader mellom midtsommer og vintersolverv (absolutt og prosent). Prosenttallet i alternativet er differansen (sommer-vinter) relativt til sommerverdien.

- a) 1200 Wm^{-2} , 90%
- b) 200 Wm^{-2} , 10%
- c) 300 Wm^{-2} , 20%
- d) 100 Wm^{-2} , 50%
- e) 400 Wm^{-2} , 90%

10. Regn ut optisk dybde (for kortbølget stråling) for absorberende sotpartikler i atmosfæren. Anta at vi har sotpartikler i atmosfæren som absorberer solstråling med tettheten $\rho_{\text{sot}}(0) = 2 \cdot 10^{-11} \text{ Kg/m}^3$ ved bakkenivå. Anta videre at tettheten av sot avtar med høyden etter uttrykket:

$$\rho_{\text{sot}}(z) = \rho_{\text{sot}}(0) \cdot e^{-z/H} \quad \text{der skal høyden } H \text{ er } 4 \text{ km.}$$

Hva blir total (fra bakken til toppen av atmosfæren) optisk dybde (τ) av disse sotpartiklene når masseabsorpsjonskoeffesienten for sot er $10^4 \text{ m}^2/\text{kg}$?

 Løsningsforslag: Optisk dybde er gitt ved likningen (3.15 i boka)

$$\tau(z) = \int_z^{\infty} k_{\text{abs}} \cdot \rho(z) \cdot dz$$

k_{abs} er uavhengig av høyden, vi får da

$$\tau(z) = \int_z^{\infty} k_{\text{abs}} \cdot \rho(z) \cdot dz = k_{\text{abs}} \cdot \rho(0) \int_z^{\infty} e^{-z/H} dz \Rightarrow$$

$$\tau(0) = H \cdot k_{\text{abs}} \cdot \rho(0) = (4 \cdot 10^3 \text{ m}) \cdot (10^4 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}) \cdot (2 \cdot 10^{-11} \text{ kg} / \text{m}^3) = 8 \cdot 10^{-4}$$

- a) $\tau = 1.0$
 b) $\tau = 1.0 \cdot 10^{-4}$
 c) $\tau = 1.0 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
 d) $\tau = 8.0 \cdot 10^{-4}$
 e) $\tau = 2.0 \cdot 10^{-4}$

11. Hvis flukstettheten til innstrålingen på toppen av atmosfæren er 650 Wm^{-2} og senitvinkelen er 60° , hvor mye svekkes strålingen pga. absorpsjon i sotpartiklene før strålingen når bakken?

 Løsningsforslag: Nedad rettet flukstetthet av stråling ved en gitt høyde etter absorpsjon i lagene over er gitt ved likningen (3.17 i boka):

$$F(z) = F_{\infty} \cdot e^{-\tau / \cos(\theta)}$$

Der θ er senitvinkelen for innkommende solstråling

Dvs. at flukstettheten ved bakken ($F(0)$) er gitt ved

Svekkingen er da $F_{\infty} - F(0)$

$$F(0) = 650 \text{ Wm}^{-2} \cdot e^{-(8 \cdot 10^{-4}) / \cos(60^\circ)} = 648.96 \text{ Wm}^{-2}$$

$$\Rightarrow F_{\infty} - F(0) = 1.04 \text{ Wm}^{-2} \approx 1.0 \text{ Wm}^{-2}$$

- ___ a) 10 Wm^{-2}
- ___ b) 0.3 Wm^{-2}
- ___ c) 60 Wm^{-2}
- ___ d) 2.5 Wm^{-2}
- x e) 1.0 Wm^{-2}

12. På denne oppgaven skal det leveres et skriftlig svar.

a. Forklar hva vi mener med Jordas effektive strålingstemperatur (T_e)

Løsningsforslag: Med Jordas effektive strålingstemperatur (T_e) mener vi den temperaturen Jorda måtte ha (overalt) etter Stefan-Bolzmanns lov for at det skal være likevekt mellom absorbert kortbølget stråling og emittert langbølget stråling.

b. Utled et uttrykk for T_e . Hvor stor er T_e ? Solarkonstanten (S_0) er 1340 Wm^{-2} , Stefan-Bolzmannskonstant: $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

Løsningsforslag: Ved likevekt er det følgende energi(strålings)balanse ved toppen av atmosfæren:

$$\text{Absorbert innkommende solstråling: } \frac{S_0(1-\alpha_p)}{4}$$

$$\text{Emittert langbølget stråling: } \sigma T_e^4$$

Balanse:

$$\frac{S_0(1-\alpha_p)}{4} = \sigma T_e^4 \Rightarrow T_e = \sqrt[4]{\frac{S_0(1-\alpha_p)}{4\sigma}}$$

Setter vi inn at den planetære albedoen er 0.3 får vi: $T_e=254\text{K}$

Anta at temperaturen i troposfæren avtar med høyden med 6 K/km ($\frac{dT}{dz} = -6 \text{ K / km}$) og at globalt midlet bakketemperatur er 288K .

c. Hva blir den gjennomsnittlige høyden i atmosfæren for utstråling til verdensrommet (vi kaller denne høyden i det videre for z_e).

Løsningsforslag: Vi skal finne den høyden der temperaturen er lik den effektive strålingstemperaturen.

$$T(z_e) = T(0) + z_e \cdot \frac{dT}{dz} \Rightarrow z_e = \frac{254 - 288}{(-6)} = 5.7\text{km}$$

d. Hvorfor er ikke $z_e=0$ (dvs. bakken)?

Løsningsforslag: Pga. av drivhusgasser og skyer absorberes en stor del av den langbølgete delen av strålingen på vei fra bakken og ut i verdensrommet. Drivhusgasser og skyer stråler ut langbølget stråling i begge retninger (opp og ned), og mesteparten av strålingen som går ut i verdensrommet kommer derfor fra lag et stykke opp i atmosfæren. For at det skal være energibalanse må gjennomsnittstemperaturen i disse lagene være T_e i følge Stefan-Bolzmanns lov. Fordi temperaturen avtar med høyden i troposfæren blir bakketemperatur høyere enn T_e ,

- e. Hvis mengden av drivhusgasser i atmosfæren øker slik at bakketemperatur øker med 2 K, men $\frac{dT}{dz}$ ikke endrer seg, hvordan går det da med z_e ?

Løsningsforslag: $T(z_e) = T(0) + z_e \cdot \frac{dT}{dz} \Rightarrow z_e = \frac{254 - 290}{(-6)} = 6.0 \text{ km}$

Regnestykket blir akkurat som i oppgave 12e, men med en bakketemperatur på 290K. Det fører til at høyden av z_e øker med ca. 300 meter. Dette er rimelig fordi med mer drivhusgasser i atmosfæren blir mer stråling absorbert på vei ut i verdensrommet, og utstrålingen skjer i gjennomsnitt fra et lag som ligger høyere (men som har samme temperatur T_e som før).