

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Eksamen i: GEF1100
Eksamensdag: 13. oktober 2016
Tid for eksamen: 09:00-12:00
Oppgavesettet er på 7 sider
Vedlegg: Ingen
Tillatte hjelpemidler: Kalkulator

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

Oppgavesettet består av 13 oppgaver med gitte svaralternativer (multiple choice) og 3 oppgaver der svaralternativer ikke er gitt. De to gruppene vil samlet bli like mye vektlagt.

Fysiske konstanter som du kan få bruk for i oppgavene under:

Tyngdens akselerasjon: $g=9.81 \text{ m/s}^2$

Gasskonstanten for tørr luft: $R=287 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$.

Oppgaver med svaralternativer (multiple choice)

I hver oppgave er det et svaralternativ som er riktig. Sett ring rundt bokstaven som angir riktig svar. Oppgavearkene skal derfor leveres.

Korrekt svar gir 5 poeng, feil svar gir minus 1 poeng.

1. Atmosfæren utveksler energi med Jordas overflate på flere måter. I denne oppgaven definerer vi positive energiflukser oppover fra overflaten til atmosfæren. Ranger etter størrelse (fra store positive, små, til store negative) disse energifluksene (som globalt årlig middel).

a. Innkommende kortbølget stråling, Latent varme, Følbar varme, Reflektert kortbølget stråling, Innkommende langbølget stråling, Emittert langbølget stråling

b. Emittert langbølget stråling, Latent varme, Reflektert kortbølget stråling, Følbar varme, Innkommende kortbølget stråling, Innkommende langbølget stråling

c. Innkommende kortbølget stråling, Innkommende langbølget stråling, Følbar varme, Reflektert kortbølget stråling, Emittert langbølget stråling, Latent varme

d. Følbar varme, Reflektert kortbølget stråling, Emittert langbølget stråling, Latent varme, Innkommende langbølget stråling, Innkommende kortbølget stråling

e. Emittert langbølget stråling, Følbar varme, Latent varme, Innkommende langbølget stråling, Innkommende kortbølget stråling, Reflektert kortbølget stråling

2. En luftpakke som inneholder vanndamp stiger opp og avkjøles slik at det dannes en sky. Vil denne luftpakken bli varmere eller kaldere enn en tilsvarende tørr luftpakke som gjennomgår den samme oppstigningen? Hvorfor?

- a. Varmere, fordi mer solstråling absorberes av skyen
- b. Varmere, fordi kondensasjonen av skyvann frigjør latent varme**
- c. Kaldere, fordi skyet luft blir kald
- d. Kaldere, fordi mer solstråling blir reflektert
- e. Kaldere, fordi fordampning av skyvann gir en avkjøling

3. Hva betyr det at en prosess i en luftpakke er adiabatisk

- a. Det er ingen energiutveksling med omgivelsene**
- b. Temperaturen er konstant
- c. Det er bare kortbølget stråling som endres, langbølget stråling påvirkes ikke
- d. Entropien i luftpakken er konstant
- e. Det er ingen faseoverganger i luftpakken

4. I troposfæren avtar temperaturen med høyden. Hvorfor er det slik?

- a. Varmetapet på grunn av utstrålingen av langbølget stråling er mest effekt høyt oppe
- b. Skyene reflekterer strålingen på toppen av troposfæren, mens de isolerer lavere luftlag.
- c. Varme fra Jordas indre når først de lavere lagene i atmosfæren, derfor er disse varmest
- d. Lufta i troposfæren blandes hele tiden raskt vertikalt. I oppstigende luft synker temperaturen fordi luften utvider seg adiabatisk**
- e. Fordi lettere gassmolekyler legger seg høyere oppe enn tyngre gassmolekyler, og den lettere gassen har lavere varmekapasitet.

5. Jordas effektive strålingstemperatur (T_e) defineres slik:

- Temperaturen til et svart legeme i likevekt med globalt midlet absorbert solstråling.
- Den globalt midlede temperaturen ved toppen av atmosfæren
- Den globalt midlede temperaturen ved Jordas overflate når vi tar hensyn til drivhuseffekten og mengden partikler i atmosfæren.
- Den globalt midlede temperaturen ved Jordas landoverflate (ser bort fra havet)
- Temperaturen til et svart legeme i likevekt med innkommende solstråling gitt ved solarkonstanten.

6. Lufttrykket i atmosfæren avtar tilnærmet eksponentielt med høyden (z gitt i meter) i atmosfæren etter formelen

$p(z) = p_0 \cdot e^{-z/H}$, der skalahøyden H her settes til 7000m. Bakkestrykket p_0 settes til 1013 hPa.

Ut fra dette, hvilken kombinasjon av verdier for høyden (z), tetthet (ρ) og temperatur (T) er korrekt når vi antar at luft er en ideell gass.

- $z=5.0$ km, $\rho=0.44$ kg/m³, $T=-20$ °C
- $z=2.0$ km, $\rho=0.97$ kg/m³, $T=0$ °C
- $z=3.0$ km, $\rho=0.80$ kg/m³, $T=-5.0$ °C
- $z=8.0$ km, $\rho=0.30$ kg/m³, $T=-40$ °C
- $z=0$ km, $\rho=1.06$ kg/m³, $T=20$ °C

7. Hvilken av følgende prosesser vil være en negativ tilbakekobling i klimasystemet

- Økt overflatetemperatur → Mer bruk av air condition drevet av elektrisitet og dermed høyere utslipp av CO₂
- Økt overflatetemperatur → mindre snø og is og dermed lavere albedo
- Økt overflatetemperatur → høyere innhold av vanndamp i atmosfæren
- Redusert overflatetemperatur → mindre høye skyer og dermed svakere drivhuseffekt
- Økt overflatetemperatur → mer lave skyer og dermed høyere albedo

8. Gradientvind er balansert av

- a. friksjonskraft og sentrifugalkraft.
- b. gravitasjonskraft, friksjonskraft og sentrifugalkraft.
- c. trykkgradientkraft, friksjonskraft og sentrifugalkraft.
- d. gravitasjonskraft og friksjonskraft.

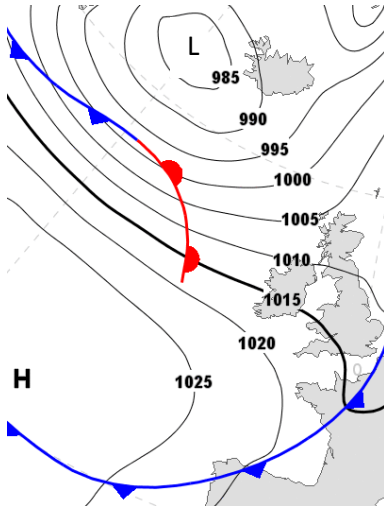
9. Gradientvind:

- a. Representerer overflatevinden godt.
- b. Har subgeostrofiske og supergeostrofiske løsninger.
- c. Eksisterer bare for syklonisk sirkulasjon.
- d. Eksisterer i virvler på mesoskala.

10. Hvor finner vi ofte subgeostrofisk vind?

- a. Globalt, over grenselaget
- b. Kun over polene
- c. Globalt, i Ekmanlaget
- d. Kun i stratosfæren

11. Ta utgangspunkt i Figuren under, hvor vi har et lavtrykkssystem over Island og et høytrykkssystem over Asorene. Hvilken vindretning vil dominere over Storbritannia?



- a. Vestavind.
- b. Nordavind.
- c. Sørøstlig vind.
- d. Nordvestlig vind

12. Vi har kald luft nord for Oslo og varm luft sør for Oslo ved 850 hPa. Hvordan endres den horisontale vinden med høyden?

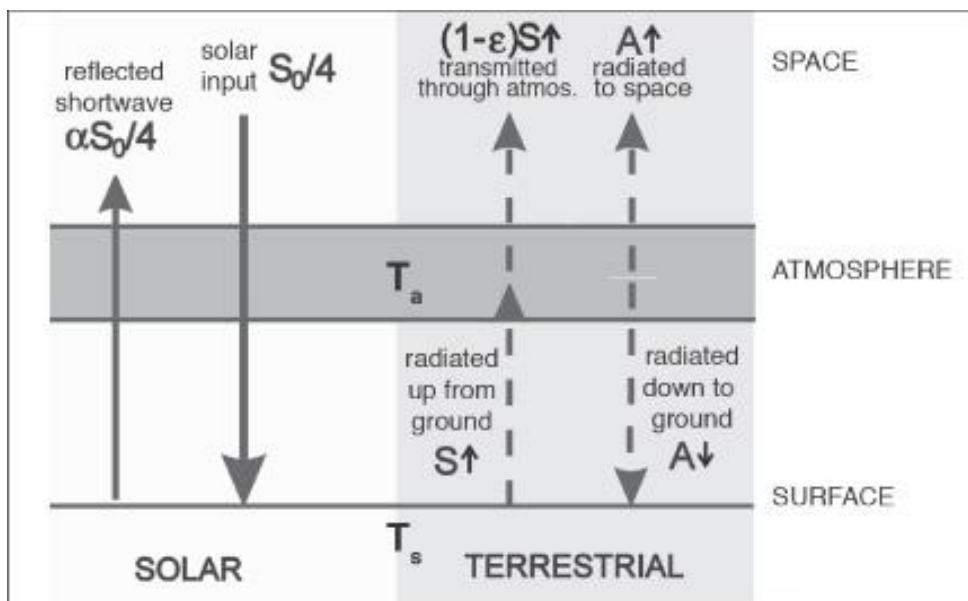
- a. Den geostrofisk vinden avtar med høyden.
- b. Vi får en polarjet.
- c. Gradientvinden øker med høyden.
- d. Den geostrofiske vinden øker med høyden.

13. En væske er i ro ved Jordens overflate. Tettheten til væsken er 700 kg/m³. Hvor mye høyere er trykket på 10 meters dyp i væsken?

- a. 508 hPa
- b. 879 hPa
- c. 687 hPa
- d. 311 hPa
- e. 1013 hPa

Oppgaver uten svaralternativer. Hvert underpunkt (a, b, c, osv.) teller like mye.

Oppgave 14:



Figuren viser en forenklet skisse av energibalansen for en planet med atmosfære og drivhuseffekt. I skissen er bare strålingsleddene i energibalansen tatt med.

- a. Ut fra figuren over, sett opp en likning for energibalansen ved toppen av atmosfæren og en for energibalansen ved overflaten.

LF:

Ved toppen av atmosfæren

$$\frac{S_0}{4} = \alpha \frac{S_0}{4} + (1 - \epsilon) S \uparrow + A \uparrow$$

Ved Overflaten:

$$\frac{S_0}{4} + A \downarrow = \alpha \frac{S_0}{4} + S \uparrow$$

b. Forklar hvordan drivhuseffekten er representert her (slik det er satt opp i figuren).

LF: Drivhuseffekten er her representert ved at en andel ϵ av den langbølgede strålingen blir absorbert av atmosfæren. Videre sender atmosfæren ut like mengder langbølget stråling både oppover ($A \uparrow$) og ned mot bakken ($A \downarrow$).

c. Forklar forskjellen på et klimapådriv (ofte kalt "strålingspådriv" eller "radiative forcing") og en tilbakekobling ("feedback").

LF: Et klimapådriv er en ekstern prosess som fører til klimaendringer. Dette kan være endringer i solinnstrålingen, endringer i sammensetningen av atmosfæren som ikke skyldes at klima endres (for eksempel ved vulkanutbrudd eller brenning av olje og kull), eller endringer av egenskapene til overflaten (for eksempel ved rydding av skog til dyrket mark).

En tilbakekobling er endringer som skyldes at vi først har fått en klimændring på grunn av et pådriv. Så fører denne endringen (for eksempel økt temperatur) til interne endringer som økt vanndamp i atmosfæren eller mindre snø/is som forsterker eller demper den opprinnelige endringen.

d. Beskriv med ord to positive tilbakekoblinger i klimasystemet.

LF:

2 eksempler på positive (forsterkende) tilbakekoblinger.

a. Økt temperatur gjør at luften kan holde på mer vanndamp som er en viktig drivhusgass. Dermed øker temperaturen ytterligere.

b. Økt temperatur gjør kan gjøre at utbredelsen av snø og is avtar (det er ikke nødvendigvis slik, det kan bli mer nedbør som snø selv om det blir varmere). Ved mindre snø/is avtar albedoen slik at mer solstråling absorberes og temperaturøkningen forsterkes.

e. Hvilke variable/parametere i figuren vil endre seg ved de 2 tilbakekoblingsmekanismene du har beskrevet i oppgaven over? Begrunn svaret.

LF:

a. mer vanndamp $\rightarrow \epsilon$ øker

b. Mindre snø/is \rightarrow albedoen (α) avtar

f. Hva mener vi med klimafølsomheten?

LF: Klimafølsomheten bestemmes av den samlede effekten av tilbakekoblingene. I læreboka defineres den som en partialderivert $\frac{\partial T_s}{\partial Q}$ dvs. endringen i globalt midlet overflatetemperatur pr. endring i pådriv (Q).

IPCC (2013) oppgir et estimat for klimafølsomheten på 1.5 til 4.5 °C (90 % usikkerhetsintervall).

Hvorfor er det så vanskelig å bestemme klimafølsomheten mer nøyaktig?

LF: I rapportene fra FNs klimapanel (IPCC) (og i mange vitenskapelige artikler) er det blitt vanlig å definere klimafølsomheten som temperaturendringen (ved ny likevekt i klimasystemet) som følge av en dobling av CO_2 mengden ut fra pre-industrielt nivå. En dobling av CO_2 gir $Q \approx 3.7 \text{ Wm}^{-2}$.

Grunnen til at det er så vanskelig å bestemme klimafølsomheten mer nøyaktig er at tilbakekoblingsmekanismene (særlig for skyer) er meget kompliserte (både negative og positive) slik at vår forståelse av de fysiske prosessene er mangelfulle og skjer på en så liten skala at det vanskelig å representere dem nøyaktig i klimamodeller.

Man kan også tenke seg å bestemme $\frac{\partial T_s}{\partial Q}$ direkte fra observerte endringer i T_s og Q . Detet lar seg gjøre, men er også usikkert pga. stor usikkerhet i hvordan T_s og Q har variert over tid.

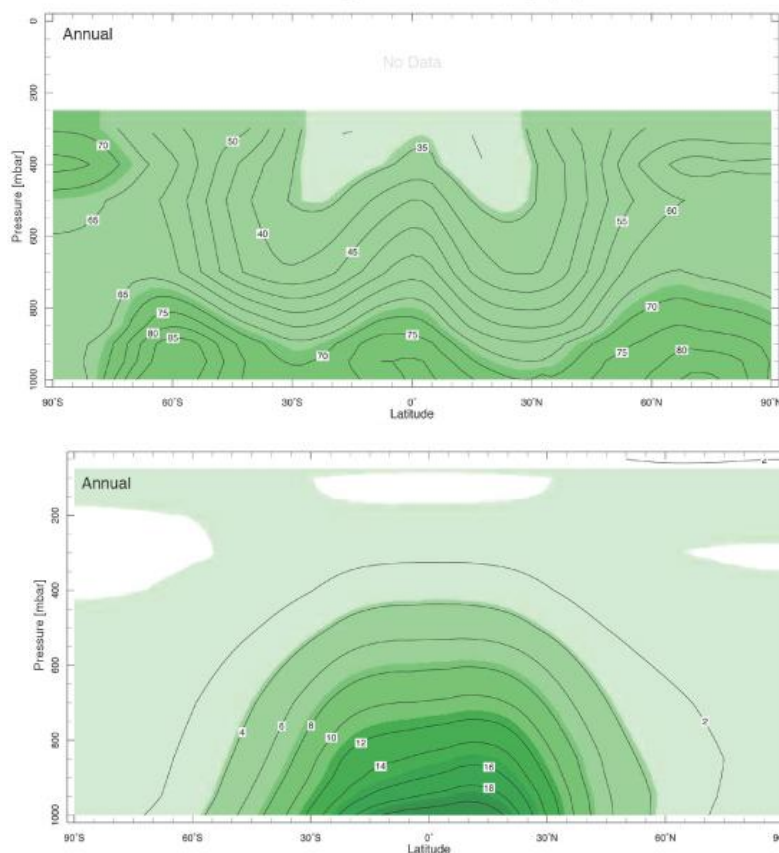
g. Hvorfor er det viktig for samfunnet å kjenne klimafølsomheten?

LF: Verdenssamfunnet har vedtatt å holde globalt midlet temperaturøkning på under 2 °C. Da må utslippene av drivhusgasser begrenses i stort omfang noe som er kostbart og hvor der er vanskelig å fordele byrdene på en rettferdig måte. Hvor store utslippsreduksjoner som er påkrevd er direkte avhengige av klimafølsomheten.

Oppgave 15:

- Hvilke krefter virker på et objekt som befinner seg over grenselaget i jordens atmosfære?
- Hva er relativ virvling ("vorticity"); og hva brukes det til?
- Hvordan kommer vi fram til uttrykkene for geostrofisk balanse? (Beskriv med ord)
- Hva er den Lagrangeske deriverte? (Beskriv med matematikk og ord)

Oppgave 16:



Figuren viser årlig sonalt midlet relativ fuktighet (øverst) og spesifikk fuktighet (nederst) som funksjon av breddegrad og høyde i troposfæren.

a. Forklar hva spesifikk fuktighet og relativ fuktighet er. Hvilke benevninger tror du er brukt i figuren?

LF: Spesifikk fuktighet (q) er forholdet mellom tettheten til vanndamp ($g \text{ (H}_2\text{O)/m}^3$) og tettheten til luft (kg/m^3). Dette forholdet får da benevningen $g \text{ (H}_2\text{O)/kg}$, eller bare g/kg . Det er denne benevningen som er brukt i figuren.

Relativ fuktighet (RH) er forholdet mellom den aktuelle spesifikke fuktigheten og spesifikk fuktighet ved metning (q^). Oppgis gjerne i %*

$$RH = 100\% \cdot q/q^*$$

b. Hva er sammenhengen mellom de to størrelsene?

LF: Se over. For å finne q^ må man kjenne trykk og temperatur til luftpakken.*

c. Ved en gitt høyde ser vi at relativ fuktighet er høyere ved ca. 60° S og N, og i tropene, mens den generelt er lavere ved 30°S og N. Hvorfor er det slik?

LF: Det kommer av variasjonen i vertikalbevegelsen i atmosfæren. På breddegrader med oppstigende bevegelser (se fig 5.21 i boka) blir luften avkjølt adiabatisk slik at RH øker. Mange steder blir det metning, skydannelse og nedbør. Luften som kommer ut på toppen av sirkulasjonen vil derfor ha en lav spesifikk fuktighet og transporteres til områder med nedsynkning. Da får vi en adiabatisk oppvarming som gjøre at q^ øker (mens q er konstant) og dermed avtar RH i nedsynkningsområder. Effekten av Hadleycellen med nedsynkning på 30 °N/S sees tydelig på figuren.*