

## Oppgave 1

**a.** *Hvordan endrer trykket seg med høyden i atmosfæren*

SVAR:

Trykket avtar tilnærmet eksponentialt med høyden etter formelen:

$$p(z) = p_s \cdot e^{-z/H}$$

Der skalahøyden  $H$  er gitt ved  $H=RT/g$

**b.** *Anta at bakketrykket er det samme på to steder A og B ( $p_A(0) = p_B(0)$ ) og at temperaturen i alle høyder over A er høyere enn ved B.*

*Diskuter forskjellen i lufttrykket i en høyde  $h$  over A i forhold til B, dvs. hvordan er  $p_A(h)$  i forhold til  $p_B(h)$ ?*

SVAR:

Ved å sette inn  $T_A > T_B$  i uttrykket for skalahøyden  $H$  ser vi at skalahøyden vil være større over A, dvs.  $H_A > H_B$

Da følger at  $e^{-z/H_A} > e^{-z/H_B}$ , altså vil trykket i en høyde  $h$  over A være større enn trykket over B ( $p_A(h) > p_B(h)$ )

Kommentar:

Mange har også besvart oppgaven med fysiske betraktninger av hvordan dette henger sammen, og såfremt de har vært riktige har det gitt poeng.

**c.** *Det er ofte en god tilnærming å anta at atmosfæren er i hydrostatisk balanse. Hva mener vi med det?*

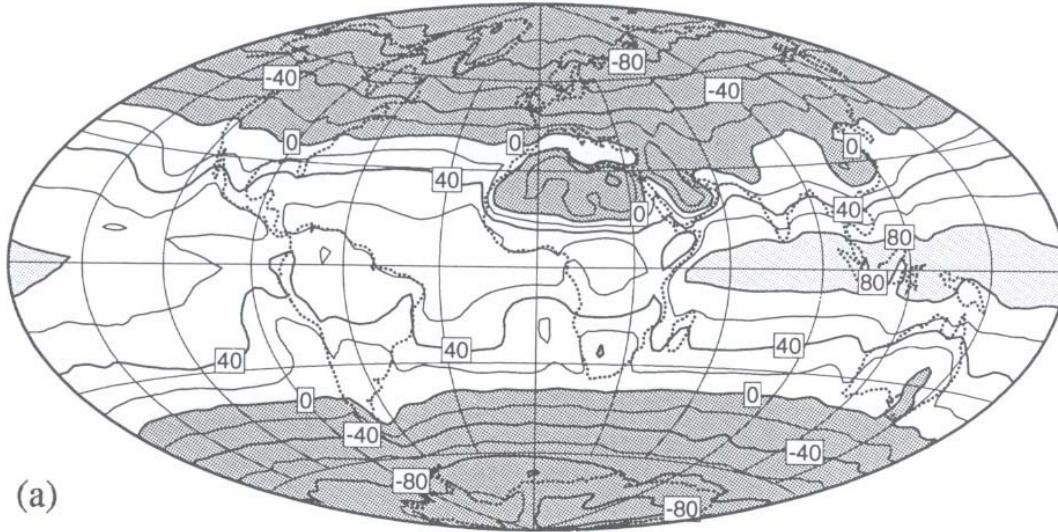
SVAR:

Når hydrostatisk balanse er det balanse mellom de vertikale kreftene som virker på en luftpakke. Dette er tyngdekraften og netto trykk-kraft. Matematisk kan det uttrykkes ved likningen for hydrostatisk balanse

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g$$

## Oppgave 2.

a. Hvorfor har nettostrålingen ved TOA negative verdier over Sahara (jfr. Figur 1 under)?



Figur 1. Årlig midlet netto innkommende stråling ( $Wm^{-2}$ ) på toppen av atmosfæren (TOA).

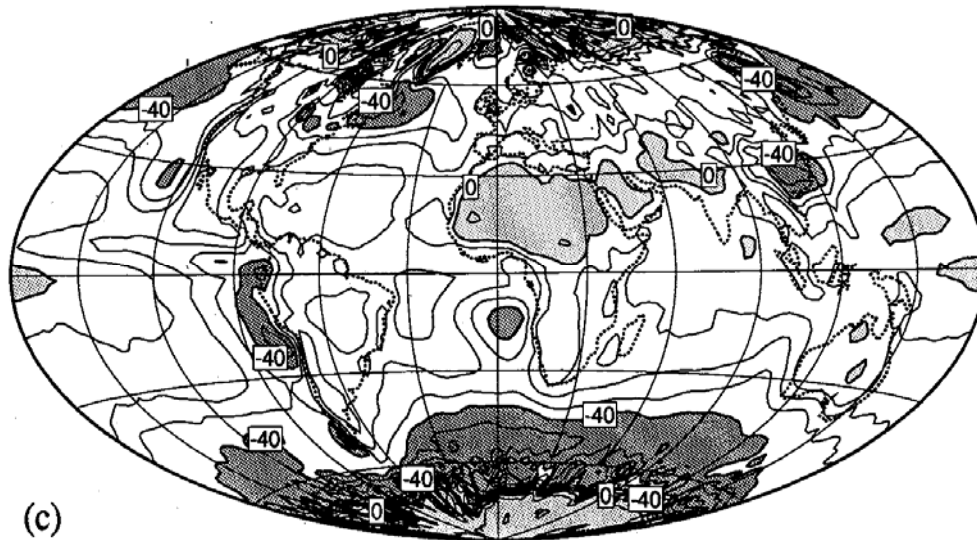
SVAR:

Nettostrålingen er differansen mellom innkommende stråling og utgående stråling. Utgående stråling består av reflektert kortbølget stråling og emitert langbølget stråling. Negativ nettostråling betyr at mer stråling går ut enn inn.

3 faktorer bidrar til negativ nettostråling

1. Høy bakkealbedo i ørkenområder gir stor refleksjon av solstråling
2. Lite skyer og tørr bakke gir høy bakketemperatur som gir høy utstråling av langbølget stråling
3. Nedsynking i Hadley-cellen og dermed tørr luft gir liten drivhuseffekt fra vanndamp og skyer → stor utstråling av langbølget stråling.

**b.** Figuren under viser netto årlig midlet strålingspådriv fra skyer basert på satellittobservasjoner. Ifølge figuren utøver skyene et svakt, positivt strålingspådriv over ørkenområdene og over polområdene. Hva kan dette skyldes?



Figur 2. Årlig midlet strålingspådriv ( $\text{Wm}^{-2}$ ) fra skyer basert på satellittobservasjoner.

SVAR:

Skyer gir positivt strålingspådriv fordi de øker drivhuseffekten, mens de samtidig gir negativt strålingspådriv fordi de øker refleksjonen av solstråling (albedo). Netto effekten kan være positiv eller negativ. For skyer over overflater med høy bakkealbedo vil den siste effekten være liten, dvs. at strålingspådrivet blir positivt. For Sahara er det også av betydning at skyene ofte er høye og tynne (dette er ikke tilfellet i Arktis), dvs. skyer som gir positivt strålingspådriv.

### Oppgave 3

**a.** Hva mener vi med Jordas effektive strålingstemperatur ( $T_e$ )?

SVAR:

Jordas effektive strålingstemperatur ( $T_e$ ) er den temperaturen der svartlegemestrålingen fra Jorda balanserer netto innkommende solstråling. Irradiansen i svartlegemestrålingen er gitt ved Stefan-Bolzmanns lov

Ved balanse har vi da:

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

**b.** *Det hevdes ofte at uten drivhusgasser i atmosfæren ville bakketemperaturen vært lik  $T_e$  (i global og årlig middel). Er dette egentlig riktig? Hvis nei, ville bakketemperaturen vært høyere eller lavere enn  $T_e$ ? Begrunn svaret.*

Det er bare riktig hvis Jordas albedo ikke endrer seg. Men, hvis bakketemperaturen blir lik  $T_e$  (-15°C) ville store områder bli dekket av snø og is slik at albedoen ville blitt langt høyere. Da ville altså bakketemperaturen vært betydelig lavere enn  $T_e$ .

Kommentar:

Her har mange diskutert betydningen av LE og SH, latent- og følbare varme. Hvis vi antar at vi fremdeles har vann tilstede, men at vandamp ikke har en drivhuseffekt, vil vi flukser av LE og SH fra bakken til atmosfæren. MEN, siden vi ikke har drivhusgasser kan ikke atmosfæren kvitte seg med energien på andre måter enn gjennom å returnere den til bakken som følbare varme. Bare drivhusgasser kan emitere langbølget stråling til verdensrommet og til bakken). Vi må derfor midlet over tid og globalt ha at  $LE = -SH$ , dvs. ingen netto effekt på energibalansen ved bakken av disse fluksene.

## Oppgave 4

Hvilken av følgende påstander er riktig?

- a) Vandamp er den nestviktigste drivhusgassen.
- b) Vandamp absorberer langbølget stråling effektivt, men slipper igjennom all solstråling.
- c) Vandamp absorberer solstråling effektivt, men slipper igjennom nesten all langbølget stråling.
- d) Vandamp absorberer langbølget stråling effektivt, og absorberer en del solstråling også.

## Oppgave 5

Ligningen for vannbalansen på jordoverflaten kan skrives:  $g_w = P + D - E - \Delta f$ , hvor  $g_w$  betegner lagring, P er nedbør, E evapotranspirasjon (fordampning + transpirasjon). Leddet  $\Delta f$  uttrykker:

- a) Latent varme
- b) Dugg eller rim
- c) Horisontal fluks av vann i atmosfæren
- d) Avrenning

## Oppgave 6

Atmosfærens varmekapasitet for en vertikal kolonne integrert fra havoverflaten opp til atmosfærens topp, tilsvarer varmekapasiteten i et overflatelag i verdenshavet av tykkelse

- a) ca. 0,2 m
- b) ca. 2 m
- c) ca. 20 m
- d) ca. 200 m

## Oppgave 7

Avstanden mellom jorda og sola

- a) Gir opphav til årstidene.
- b) Er konstant.
- c) Er generelt avtagende.
- d) Er for tiden minst ca. 5.januar hvert år.

## Oppgave 8

Overgangen mellom troposfæren og stratosfæren kalles tropopausen. Hvor høyt ligger den?

- a) I ca. 10 km høyde på høye bredder, men ca. 17 km i tropene.
- b) I ca. 10 km høyde.
- c) I ca. 5 km høyde på høye bredder, men ca. 10 km i tropene.
- d) I ca. 15 km høyde, lavest i tropene.

## Oppgave 9

Hvilken (kun én) av følgende påstander er riktig?

- a) Globalt midlet er innfallende solstråling og utgående varmestråling i balanse ved jordoverflaten.
- b) I klimasystemet transporteres energi i form av stråling, varmeledning, Konveksjon og flukser av latent varme.
- c) Følbar og latent varme er omtrent like store, globalt midlet.
- d) Vanndamp er den viktigste drivhusgassen, men skyene har ingen drivhuseffekt.

## Oppgave 10

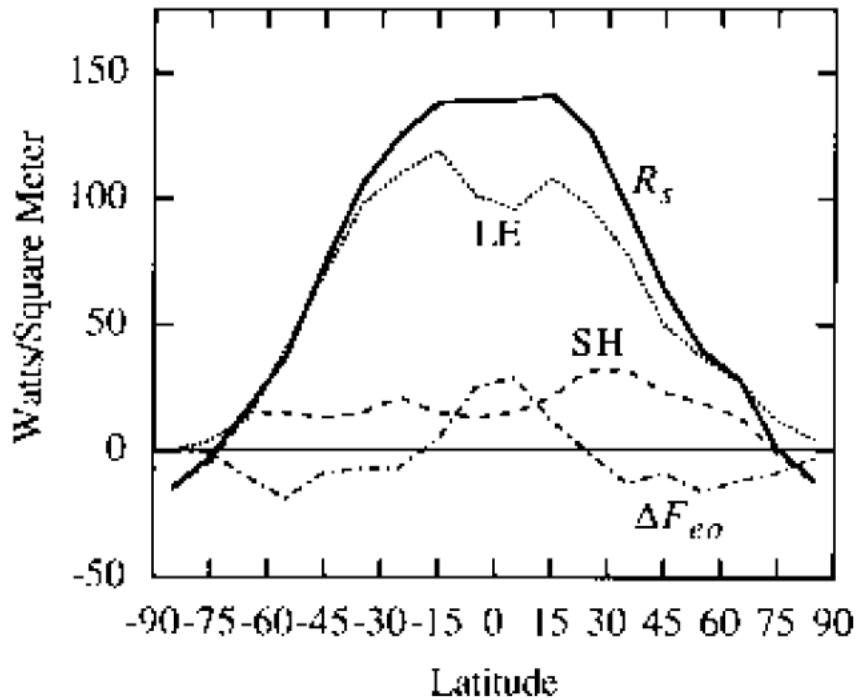
Ifølge den strålingskonvektive modellen (Manabe og Strickler, 1965) er det i

troposfæren:

- a) Tilnærmet balanse mellom absorpsjon av solstråling i H<sub>2</sub>O og utstråling fra H<sub>2</sub>O.
- b) Tilnærmet balanse mellom flukser av følbare og latent varme.
- c) Tilnærmet balanse mellom absorpsjon av solstråling i O<sub>3</sub> og utstråling i CO<sub>2</sub>.
- d) Energibalanse, men ikke strålingsbalanse.

### Oppgave 11.

Figuren under viser bidrag til energibalansen ved jordoverflaten, midlet sonalt og over året.



Som vi ser er LE-leddet aller størst ved ca. 15-30°N og S. Dette betyr at

- a) Det er stor fordampning fra ørkenområdene.
- b) De subtropiske havområdene forer tropene med fuktighet.
- c) Latent varme er en viktig energikilde i subtropene.
- d) Det regner mer i subtropene enn i tropene.