

Norwegian University of Science and Technology
Department of Physics

EXAMINATION IN FY3201 ATMOSPHERIC PHYSICS AND CLIMATE CHANGE

Faculty for Natural Sciences and Technology

21 May 2014

Time: 09:00-13:00

Number of pages: 4

Permitted help sources: 1 side of an A5 sheet with printed or handwritten formulas permitted
Single or Bi-lingual dictionary permitted
All calculators permitted

You may take:

Molar mass of water vapour: $\sim 18 \text{ kg/kmole}$ $g=9.8 \text{ m s}^{-2}$ and constant in z
Molar mass of dry air: $\sim 29 \text{ kg/kmole}$ $1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa} = 10^2 \text{ N m}^{-2}$
 $273.15 \text{ K} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ Scale Height: $H=R\cdot T/g$
Stefan–Boltzmann constant: $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$
Solar constant at Earth's orbit (1 AU= $150 \times 10^6 \text{ km}$) = $1367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
Radius of the Earth = 6370 km
Latent heat of vaporization water: $L_v=2.5 \times 10^6 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$
Gas constant for water vapour: $R_v=461 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
Values for dry air: $C_p=1004 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ $C_v=718 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ $R_d=287 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
 $\gamma = C_p / C_v$ $\kappa = R_d / C_p$ $R_d=C_p - C_v$ $\Gamma_{da}=9.8 \text{ K/km}$

Clausius–Clapeyron relation: $e_s = 6.112 \text{ hPa} \cdot \exp\left[\frac{L_v}{R_v}\left(\frac{1}{273 \text{ K}} - \frac{1}{T}\right)\right]$

Answer all questions (English or Norwegian).

The English version of the exam is official in event of a translation difference

Good Luck!

1) (5%) Short answers

- a) Can scattering of solar radiation by clouds be treated using the Rayleigh approximation? Why? (1%)
- b) Name three different types of spectral line broadening and how large of an effect they have. (1%)
- c) What are cloud condensation nuclei (CCN) and why are they needed in order to condense water vapour in the atmosphere? (1%)
- d) If an atmospheric absorption line is saturated, describe what happens to the absorption if the absorber density continues to increase? (1%)
- e) What are the most important optical properties of a gas that allow it to create a greenhouse effect? (1%)

- 2) (20%) A parcel of air at a pressure of 1.6×10^{-3} hPa with a temperature of 190 K contains a minor species, A, that has a density of 6.1×10^{10} molecules·m⁻³. The parcel is transported adiabatically to a level where the pressure is 1.8×10^{-2} hPa and the temperature is 200 K.
- What is the total number density and volume mixing ratio of A in the parcel before it is transported? (2%)
 - What is the temperature and total number density of the parcel after it is transported? (5%)
 - What is the number density and volume mixing ratio of the minor species, A, after transport? (5%)
 - Approximately how many scale heights was the parcel transported? (5%)
 - Is the parcel stable or unstable with respect to vertical motion? Why? (3%)
- 3) (25 %) An air parcel at a pressure of 950 hPa has a temperature of 25 °C.
- If the air parcel is lifted to the Lifting Condensation Level (LCL) and has a temperature of 15 °C there, what is the atmospheric pressure there? (5%)
 - What was the relative humidity of this air parcel before lifting? (12%)
 - After the parcel has reached the LCL, 5g/kg of water vapour suddenly condenses. What is the potential temperature change of the parcel due to condensation? (5%)
 - What is the change in entropy as condensation occurs (3%)
- 4) (25%) Volcanic ash of 0.01μ ($1 \mu = 10^{-6} \text{m}$) radius is distributed with a constant mass mixing ratio of 3% in the lowest 3 km of an isothermal atmosphere of temperature 300 K. The atmospheric density at the surface is $1.29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, and you may assume dry air. For 500 nm light, take the attenuation coefficient of clear air to be 0, and for ash to be $0.01 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$.
- At ground level, what is the optical depth of 500 nm light for the sun directly overhead? (8%)
 - What is the atmospheric transmission in this case? (3%)
 - At what altitude does the absorption = 50%? (8%)
 - If the particle radius increased to 3μ with the same mass mixing ratio, how would the extinction coefficient, transmission and asymmetry factor (ratio of forward to backward scatter) change for 500 nm light? (6%)

- 5) (25%) Mercury, with a radius of 2440 km, has an albedo of 0.16 and is 0.4 AU (Astronomical Units) from the Sun.
- a) What is the radiative equilibrium temperature of Mercury? (8%)
 - b) What fraction of the radiative flux emitted by the Sun does Mercury intercept? (5%)
 - c) What would the radiative equilibrium temperature of the Earth be if there was no atmosphere? Assume the albedo, $a=36\%$. (2%)
 - d) If the solar irradiance, S , at Earth were to change, calculate the climate sensitivity, $\beta = \Delta T / (\Delta S/S)$. Assume there is no atmosphere. (5%)
 - e) Modern climate models give a climate sensitivity for solar irradiance changes of $\sim 200\text{ }^\circ\text{C}/(\text{fractional change in solar irradiance})$. Is this different from your value, and if so, why? (5%)

VEDLEGG

Bokmål oversettelse (tilnærmet) av eksamen hvis det er spørsmål om terminologi.

- 1) (5%) Kortbesvarelser
 - a) Kan man bruke Rayleigh-tilnærming for å beskrive spredningen av solstråling av skypartikler? (1%)
 - b) Navngi de tre forskjellige prosessene som utvider spektrallinjer og hvor stor effekt de har. (1%)
 - c) Hva er kondensasjonskjerner (CCN) og hvorfor trenger vanndamp CCN for å kondensere? (1%)
 - d) Gitt at en absorpsjonslinje blir mettet, beskriv hva skjer med absorpsjonen hvis tettheten av absorberende middel fortsetter å øke. (1%)
 - e) Hva er de viktigste optiske egenskapene til en gass som skaper drivhuseffekt? (1%)
- 2) (20%) En luftpakke som har et lufttrykk på $1,6 \times 10^{-3}$ hPa og temperatur på 190 K inneholder en mindre bestanddel av gass A, som har en nummertetthet på $6,1 \times 10^{10}$ molekyler·m⁻³. Luftpakken blir ført adiabatisk til punktet der lufttrykket er $1,8 \times 10^{-2}$ hPa og temperaturen er 200 K.
 - a) Hva er nummertettheten til hele luftpakken og blandingsforhold for gass A før luftpakken ble transportert (2%)
 - b) Hva er temperaturen og nummertettheten til luftpakken etter den blir transportert (5%)
 - c) Hva er nummertettheten og blandingsforhold for gass A etter luftpakken blir transportert (5%)
 - d) Omtrent hvor mange skalehøyder har luftpakken blitt transportert? (5%)
 - e) Er luftpakken stabile eller ustabile med hensyn til vertikale bevegelser? Hvorfor? (3%)
- 3) (25%) En luftpakke har lufttrykk $p=950$ hPa og temperatur $T=25$ °C
 - a) Om luftpakken blir hevet til kondensasjonsnivået (LCL) der pakken temperatur blir 15 °C, hva er lufttrykket der? (5%)
 - b) Hva var den relative fuktigheten for luftpakken før heving? (12%)
 - c) Etter at pakken sitter ved LCL, 5 g/kg vanndamp plutselig kondenserer. Hvor mye forandres luftpakkens potensielle temperatur på grunn av kondensasjon? (5%)
 - d) Hvor mye forandres luftpakkens entropi når 5 g/kg vanndamp kondenserer? (3%)
- 4) (25%) En vulkanisk askesky består av partikler med radius 0,01 μm ($1\mu=10^{-6}$ m) og har et masseblandingsforhold på 3% i den laveste 3 km av atmosfæren som er isothermisk med temperatur på 300 K. Den atmosfæriske tettheten på bakken er $1.29 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, og man kan anta tørr luft. Ta klarlufts svekkingskoeffisient ved 500 nm = 0, og askens svekkingskoeffisient = $0,01 \text{ m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$.
 - a) Regn ut skylagets optisk dybde ved 500 nm med solen loddrett over. (8%)
 - b) Hva er i så fall atmosfærens transmisjon? (3%)
 - c) Bestem høyden der absorpsjonen er lik 50%. (8%)
 - d) Om partiklenes radius økte til 3 μm men blandingsforholdet var det samme, hvordan ville svekkingskoeffisienten, transmisjonen og asymmetrifaktoren (ratio forover til bakover spredning) ved 500 nm forandres.
- 5) Merkur har en radius på 2440 km, en albedo på 0,16 og ligger 0,4 AE (astronomiske enheter) fra Solen.
 - a) Hva er Merkurs strålingsbalansetemperatur? (8%)
 - b) Hvilken andel av Solens strålingsfluks blir oppfanget av Merkur? (5%)
 - c) Hva ville strålingsbalansetemperaturen på jorden være om det ikke fantes noen atmosfære? Anta at albedoen er $a=36\%$. (2%)
 - d) Om solens irradians, S, ved jorden skulle endres, beregn klimasensitiviteten $\beta = \Delta T / (\Delta S/S)$. Anta at det ikke fantes noen atmosfære. (5%)
 - e) Moderne klimamodeller gir klimasensitiviteten med hensyn til endringer i solens irradians $\beta \sim 200^\circ\text{C}/(\text{andelsendring i solens irradians})$. Har du beregnet en forskjellig verdi? I så fall, hvorfor? (5%)