

Norwegian University of Science and Technology  
Department of Physics

Subject contact during examination:

Name: Patrick Espy  
Tel: 41 38 65 78 (mob)

**EXAMINATION IN FY3201 ATMOSPHERIC PHYSICS AND CLIMATE CHANGE**  
Faculty for Natural Sciences and Technology  
30 Nov 2009  
Time: 09:00-13:00

Number of pages: 2

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

You may take:

Molar mass of water vapour  $\sim 18$  kg/kmole  $g=9.8$  m s<sup>-2</sup> and constant in  $z$   
Molar mass of dry air  $\sim 29$  kg/kmole  $1$  hPa =  $10^2$  Pa =  $10^2$  N m<sup>-2</sup>  
273 K = 0 °C Scale Height,  $H=R\cdot T/g$   
Values for dry air:  $C_p=1004$  J·K<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>  $C_v=718$  J·K<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>  $R_d=287$  J·K<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>  
 $\gamma = C_p / C_v$   $\kappa = R_d / C_p$   $R_d=C_p - C_v$   $\Gamma_{da}=9.8$  K/km

***Answer all 5 questions (and good luck!):***

**1) Atmospheric structure (20 %):**

- a) A meteorological station is located on land 50 m below sea level. If this station measures the surface pressure to be 1020 hPa, the mean temperature for the layer between the surface (1020 hPa) and 1000 hPa to be 15 C, and the mean temperature for the 1000 to 500 hPa layer to be 0 C, determine the height of the 500 hPa pressure level above sea level. Assume the air is dry. (15%)
- b) Assume that these temperatures are the temperatures at the centre of each layer. What is the stability of the atmosphere with regard to vertical motions and why is it stable or unstable? Again assume the air is dry. (5%)

2) **Radiation and atmospheric structure (20 %)**

A parallel light beam from the sun is incident on an atmosphere which consists of a gas with a constant absorption coefficient,  $k_\lambda$ . If the atmosphere is isothermal, use the definition of optical depth and the fundamental atmospheric structure equations to show that the optical depth has a linear relationship to pressure.

3) **Radiation transfer (20 %)**

The Schwarzschild radiation transfer equation may be integrated to give the radiance at any altitude,  $z$ , as follows:

$$L_v^\uparrow(z) = L_{vs}^\uparrow \cdot e^{-(\tau_s - \tau_z)/\mu} - \int_{\tau_s}^{\tau_z} J_v(\tau') \cdot e^{-(\tau' - \tau_z)/\mu} \cdot \frac{d\tau'}{\mu}$$

$$L_v^\downarrow(z) = L_{v\infty}^\downarrow \cdot e^{\tau_z/\mu} - \int_{\tau_z}^{\tau_s} J_v(\tau') \cdot e^{-(\tau' - \tau_z)/\mu} \cdot \frac{d\tau'}{\mu}$$

A short wavelength parallel beam of solar radiation of radiance,  $L_{v\infty}^\downarrow$  is incident at the top of an isothermal atmosphere at a zenith angle of  $0^\circ$  ( $\mu=1$ ). It is absorbed by the gas which has a density,  $\rho(z)$ , and an absorption coefficient,  $k_v$ , that is independent of altitude. Select the terms of the equations you would need to describe the radiance as a function of altitude (assume that there is no scatter or albedo and a surface temperature of  $\sim 288\text{K}$ ) (5%).

Using this, show that the absorption per unit volume (i.e.,  $dL_v^\downarrow/dz$ ) reaches a maximum at the level where the optical depth is unity. (15%)

4) **Climate and modelling (20 %)**

- Briefly describe the difference between weather and climate? (5%)
- What is meant by a radiative equilibrium temperature? (5 %)
- In atmospheric models (for example climate models), how does one treat physical or chemical processes that have a scale size smaller than the model grid size? (5%)
- In a radiative transfer model, what is the “two-stream” approximation? (5%)

5) **Atmospheric Structure and Thermodynamics (20 %)**

An air parcel's entropy,  $S$ , is constant for an adiabatic (isentropic) process ( $\delta q=0$ ). However, during a cloud-free evening, long wavelength heat transfer causes an air parcel to descend from 900 to 910 hPa, and its entropy to decrease by  $15 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ . If its initial temperature is 280 K, determine:

- The parcel's final temperature (10%), and
- The parcel's final potential temperature,  $\theta$  (10%).

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
 Institutt for fysikk

Faglig kontakt under eksamen:

Navn: Patrick Espy  
 Tlf: 41 38 65 78 (mob)

**EKSAMEN I FY3201 Atmosfærefysikk og klimaendringer**  
 Fakultet for naturvitenskap og teknologi  
 27. november 2009  
 Tid: 09:00-13:00

Antall Sider: 2

Tillatte hjelpemidler: 1 side A5 ark med trykte eller håndskrevne formeler tillatt  
 Norsk Engelsk ordbok tillatt  
 Godkjent kalkulator tillatt

Oppgitte størrelser:

Molarmassen til vanddamp	$\sim 18 \text{ kg/kmol}$	$g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$ (konstant i z retning)
Molarmassen til tørr luft	$\sim 29 \text{ kg/kmol}$	$1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa} = 10^2 \text{ N m}^{-2}$
$273 \text{ K} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$		Skalahøyde, $H = R \cdot T / g$
For tørr luft:	$C_p = 1004 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$	$C_v = 718 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
	$\gamma = C_p / C_v$	$\kappa = R_d / C_p$
		$R_d = 287 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
		$R_d = C_p - C_v$
		$\Gamma_{da} = 9.8 \text{ K/km}$

**Svar på alle 5 spørsmål (og lykke til!):**

**1) Atmosfærisk struktur (20 %):**

- En meteorologisk stasjon ligger 50 meter under havnivå. Om denne stasjonen måler et lufttrykk på 1020 hPa, gjennomsnittstemperatur til området mellom stasjonen og laget der trykket er 1000 hPa på  $15^\circ\text{C}$ , og gjennomsnittstemperatur til området mellom 1000 og 500 hPa på  $0^\circ\text{C}$ , bestem høyden av 500 hPa-laget over havet. Anta tørr luft. (15%)
- Anta at disse temperaturene er temperaturene for midten av hvert område. Hva er den atmosfæriske stabiliteten med hensyn til vertikale bevegelser og hvorfor er den stabil eller ustabil? Igjen anta tørr luft. (5%)

2) **Stråling og atmosfærisk struktur (20 %)**

En parallell lysstråle fra solen treffer en atmosfære som består av en gass med konstant absorpsjonskoeffisient,  $k_v$ . Om temperaturendringen i atmosfæren er isotermisk, bruk definisjonen av optisk dybde og de fundamentale atmosfæriske strukturligningene til å vise at den optiske dybden har et lineært forhold til trykket.

3) **Stålingsoverføring (20 %)**

Schwarzschilds ligning for strålingstransport kan integreres for å gi den spektrale radiansen ved en gitt høyde,  $z$ , som følgende:

$$L_v^\uparrow(z) = L_{v_s}^\uparrow \cdot e^{-(\tau_s - \tau_z)/\mu} - \int_{\tau_s}^{\tau_z} J_v(\tau') \cdot e^{-(\tau' - \tau_z)/\mu} \cdot \frac{d\tau'}{\mu}$$

$$L_v^\downarrow(z) = L_{v_\infty}^\downarrow \cdot e^{\tau_z/\mu} - \int_{\tau_z}^{\tau_s} J_v(\tau') \cdot e^{-(\tau' - \tau_z)/\mu} \cdot \frac{d\tau'}{\mu}$$

En parallell strålebunt fra solen med kort bølgelengde og spektralradians  $L_{v_\infty}^\downarrow$  treffer toppen av en isotermisk atmosfære med en senitvinkel på  $0^\circ$  ( $\mu=1$ ).

Strålen blir absorbert av en gass som har tetthet,  $\rho(z)$ , og absorpsjonskoeffisient  $k_v$  som ikke avhenger på høyden. Velg termene i ligningene som man trenger for å beskrive radiansen som funksjon av høyde (anta at det ikke er noen spredning eller albedo, og en overflatetemperatur på ca. 288K). (5%)

Bruk dette til å vise at absorpsjonen per volumenhet (i.e.  $dL_v^\downarrow/dz$ ) har et maksimum der den optiske dybden er lik 1. (15%).

4) **Klima (20 %)**

- Beskriv kort forskjellen mellom vær og klima (5 %)
- Hva mener man når man snakker om strålingsbalansetemperatur? (5 %)
- I atmosfæriske modeller (for eksempel klimamodeller) hvordan kan man behandle fysiske og kjemiske prosesser der skalastørrelsene er mindre enn den minste gitterstørrelsen i modellen? (5%)
- I en strålingstransportmodell, hva er en tostrøms tilnærming? (5%)

5) **Atmosfærisk struktur og termodynamikk (20 %)**

En luftpakkes entropi,  $S$ , er konstant for en adiabatisk (isentropisk) prosess ( $\delta q=0$ ). På en skyfri kveld, forårsaker imidlertid varmeoverføring ved lange bølgelengder luftpakken til å synke fra 900 til 910 hPa, og dens entropi til å minke med  $15 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Om luftpakkens starttemperatur er 280K, bestem:

- Luftpakkens endelige temperatur (10%), og
- Luftpakkens endelige potensielle temperatur,  $\theta$  (10%)