

Atmosfæren og det nære verdensrommet

Berit Kjeldstad
 Institutt for fysikk, NTNU
 Forelesning i FY3020 Romteknologi I
 13.10.2005

Innhold

- Atmosfærens sammensetning
- laginndeling
- trykk og temperatur
- stråling
- magnetfelt

Type gasser	Kjemisk formel	Volumandel av luften	Masseprosent	Skala høyden i cm ^(*) Redusert trykkløse til NTP ^{a)}	
Konstante gasser	Nitrogen	N ₂ ^{b)}	78,08 %	6 243 43	
	Oksygen	O ₂	20,95 %	1 674 95	
	Argon	Ar	0,93 %	74 36	
	Neon	Ne	18,2 ppm ^{c)}	1,25 × 10 ⁻³	
	Hellium	He	5,2 ppm	7,24 × 10 ⁻⁵	
	Krypton	Kr	1,14 ppm	3,3 × 10 ⁻⁶	
	Xenon	Xe	0,09 ppm	3,9 × 10 ⁻⁵	
	Variable gasser	Vanddamp	H ₂ O	0,00001 - 4 %	~ 2,5
		Karbondioksid	CO ₂ ^{d)}	~ 365 ppm	~ 240
Metan		CH ₄	~ 1,8 ppm	1,1	
Lystgass		N ₂ O	~ 0,31 ppm	0,3	
Ozon		O ₃	~ 0,4 ppm	0,4	
Karbonmonoksid		CO	~ 0,09 ppm		
Klorfluor-karbondgasser	KFK	~ 0,0005 ppm			

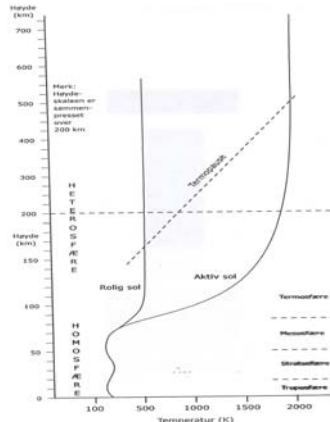
Merknader:
 a) NTP = redusert til normal trykk (760 mmHg) og temperatur (15° C)
 b) N₂ = nitrogenmolekyl.
 c) 18,2 ppm = 0,0018 %
 d) Da CO₂ inngår i fotosyntesen, er tettheten av CO₂ mindre på sommeren enn på vinteren. Konsentrasjonen øker med > 0,4 % pr. år og har øket med 35 % siden år 1800.
 e) Skalshyde er definert og diskutert i avsnittet *Barometerformelen* i dette kapittelet.

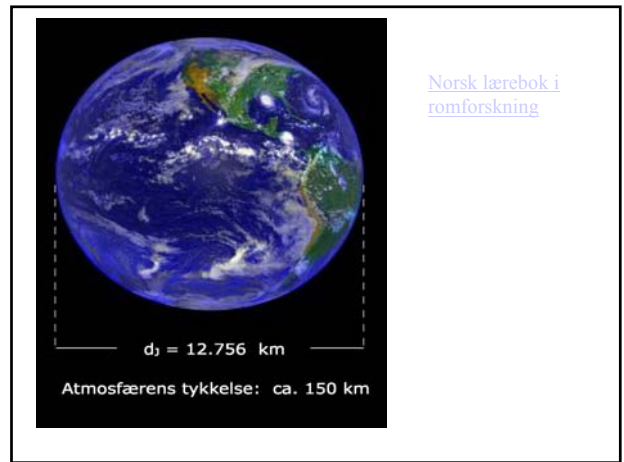
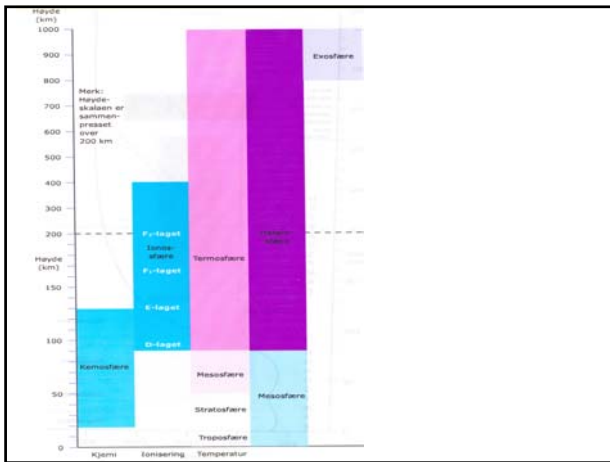
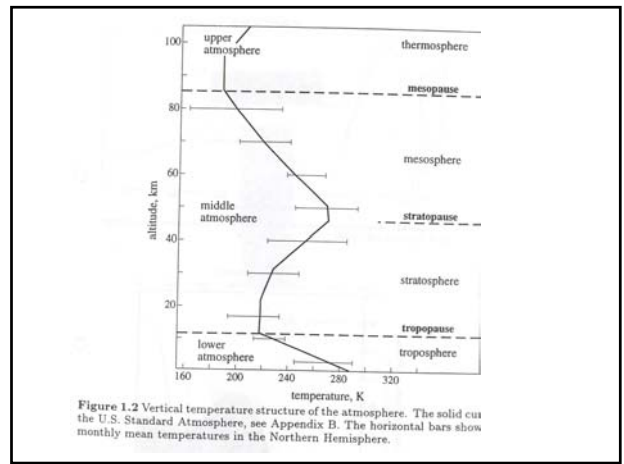
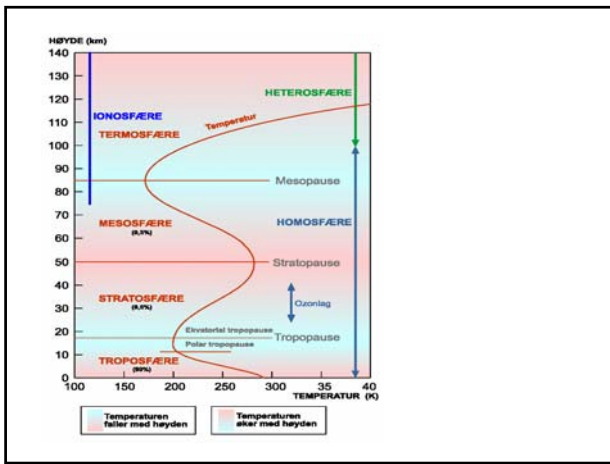
Laginndeling

- Troposfæren: 0 til 10-15 km (meteorologi)
- Stratosfæren: ca 15 km til 50 km (ozon)
- Mesosfæren: ca 50 – 90 km (<0.5% av den totale atmosfæremassen)
- Termosfæren: ca 90 – 150 km (meget liten masse)
- Mesosfæren og termosfæren inngår i ionosfæren, ca 50-500km
- Magnetosfæren, ca. 500 ----

Lagdeling på bakgrunn av temp

- Temperaturen avtar eksponensielt med høyden (gjelder opp til 20 km)
- I stratosfæren øker temperaturen p.g.a. absorpsjon av sol stråling (ozon)
- Stratospausen er lokalt maksimum for temperatur
- Mesofæren avtar temperaturen eksponensielt med høyden
- Minimum temperatur i mesopausen (ca 180 K)
- Termosfæren har tilnærmet konstant temperatur (nivå avhengig av solaktiviteten)





Temperatur: funksjon av høyde
i troposfæren

Barometerformelen

Trykk:
funksjon av tetthet og høyde

Gyldig til og med 100 km

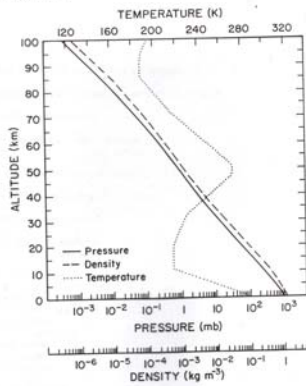
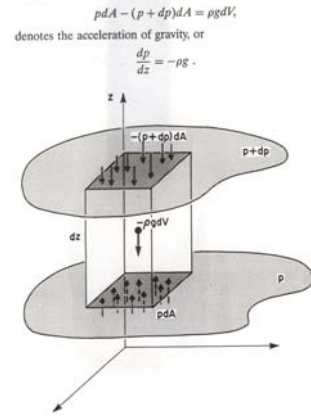


Figure 1.2 Global-mean pressure (solid), density (dashed), and temperature (dotted) functions of altitude. Source: U.S. Standard Atmosphere (1976). Ref: Salby



Barometerformel

Gravitasjonskraftene er i balanse med trykk kreftene fra omliggende luft.

$$-dp = \rho g dz$$

$$dp/dz = -\rho g$$

$$= p/RT \quad (\text{gass lign. : } pV = NRT, \quad \rho = N/V)$$

$$dp/dz = - (p/RT) g$$

$$dp/p = - (g/RT) dz$$

$$\ln p = - (g/RT) z$$

$$p = \exp [- (g/RT) z], \quad H = (RT/g) \text{ kalt skalahøyde}$$

Skalahøyde, $H = RT/g$

- Et luftlag ligger mellom høyden z_1 og z_2
- $z_2 - z_1 = H \ln (p_1 / p_2)$
- $p_2 = p_1 \exp [-(z_1 - z_2)/H]$
- Trykket reduseres med en faktor e
- tilsvarer $\exp[-1] = 0.36$ for en høyde økning $z_1 - z_2 = H$.
- For $T = 288 \text{ K}$ (snitt temp ved jordens overflate) blir $H = 8.8 \text{ km}$, $R = 287 \text{ J/Kkg}$ (tørr luft)

Trykkreduksjon i troposfæren

- Skalahøyden angir lagdelingen i atmosfæren; fysiske avstand mellom isobare kurver.
- Skalahøyden bestemmes av midlere temperatur i luftlaget og dets sammensetning.
- Isobar kurvene ligger tettere ved polene enn ved ekvator fordi det er kaldere og skalahøyden blir mindre

Eksempel

- Beregn tykkelsen mellom laget på 1000mb og 500 mb ved polene (-40 C) og ved tropene (9 C)
- $z = z_{500\text{mb}} - z_{1000\text{mb}} = R_d T_v / g \ln(1000/500)$
- $z = 20.3 \cdot T_v$
- Polen $T_v = 233$ and $z = 4730\text{m}$
- Ekvator $T_v = 282$ and $z = 5725\text{m}$

Måling av skalahøyden

- Ballonger opp til 40 km (øvelse på Andøya)
- Fjernmåling fra bakken (lidar) opp til 100 km
- Over 100 km er det mindre kunnskap om atmosfærens sammensetning også temperatur,
 - In situ målinger. raketter, romfergen går opp og ned.
 - fjernmåling
- Informasjon fra satelitter (400 – 800 km), betraktes som høyvacuum

Stråling i verdensrommet

Stråling fra sola

- Solstråling (X-ray, UV og synlig område)
- Solaktivitet og solflekker
 - antall solflekker varierer med syklus på 11 år
 - varierer mellom 0-300 stk, ulik varighet (timer til dager)
- Stor variasjon i intensitet mellom 0.1 – 10 nm ved ulike solflekk aktivitet
- Solkonstanten $1369 \text{ W/m}^2 (\pm 1)$ UV og synlige område som når mesosfæren
- Partikkelstråling (elektron, proton, He^{++})

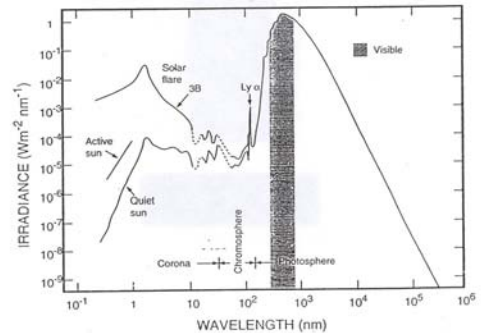


Figure 8.4 Spectrum of solar irradiance (flux) as a function of wavelength, under normal and disturbed conditions. Visible band and emission levels in the solar atmosphere indicated. Adapted from Smith and Gottlieb (1974) with permission of Klüwer Academic Publishers.

Ozonlaget finnes i stratosfæren (15-50 km)

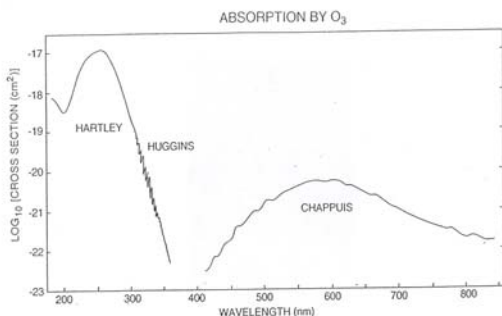


Figure 8.14 Absorption cross section as a function of wavelength for ozone. Sources: Andrews et al. (1987) and WMO (1986).

Solstråling ved topp og bunnen av atmosfæren

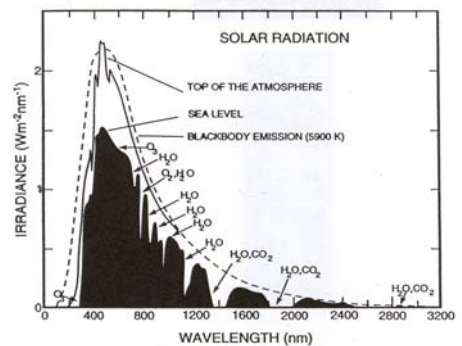


Figure 8.2 Spectrum of SW radiation at the top of the atmosphere (solid) and at the earth's surface (shaded), compared against the emission spectrum of a blackbody at 6000 K (dashed). Individual absorbing species indicated. Adapted from Coulson (1975).

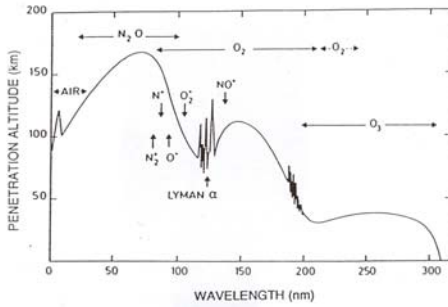


Figure 8.3 Penetration altitude, where SW flux at wavelength λ is attenuated by a factor of e^{-1} . Absorbing species and thresholds for photoionization indicated. After Herzberg (1965).

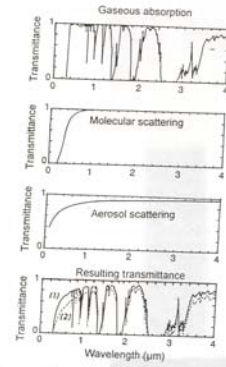
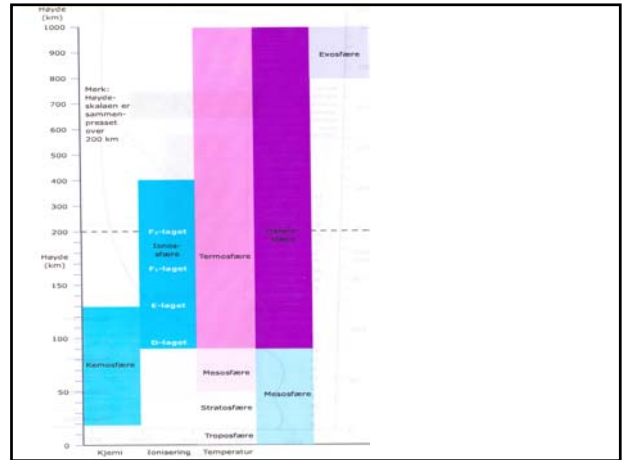


Figure 1.17 – Different contributions to the total direct transmission of the atmosphere for a vertical path. The curves representing resultant transmittance correspond to a vertical path (1) and a Sun altitude of 30° (2) (after Deschamps, 1981).

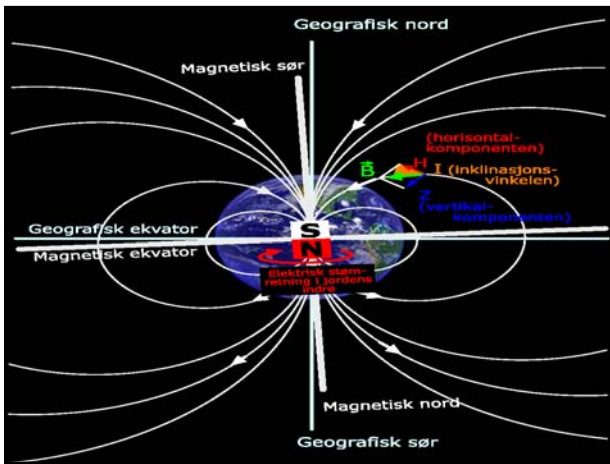
Ionosfæren

- Rekkevidde 500 – ca. 50 km
- Oppdaget med radiobølger (Eiscat radar)
- Ionisasjon av molekyler
- Frie elektroner og ioner dannes i den øvre atmosfæren.
- Flere lag: D-laget 50-95 km E-laget 95-150 km F-laget 150-500 km. Høyest elektron tetthet i F-laget.
- Nordlys partikkel bombardering av E og F-laget.



Jordens Magnetfelt

- Magnetfeltet er en del av jordens romdrakt. Det beskytter oss mennesker mot kosmisk stråling, dvs. ladde partikler med høy energi. Hovedkilden til magnetfeltet er elektriske strømmer i jordens indre.
- Jordens magnetiske sydpol ligger på den nordlige halvkule.



Jordmagnetfeltet kan med god tilnærming beskrives som feltet fra en stavmagnet i jordens sentrum – dvs. som et *dipolfelt*.

Karakteristiske egenskaper for et dipolfelt er:

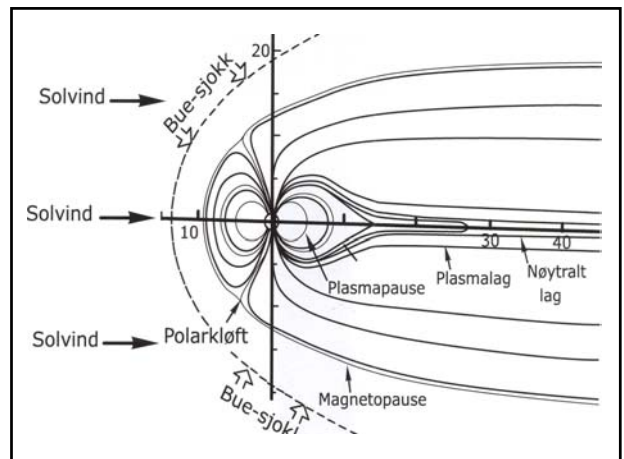
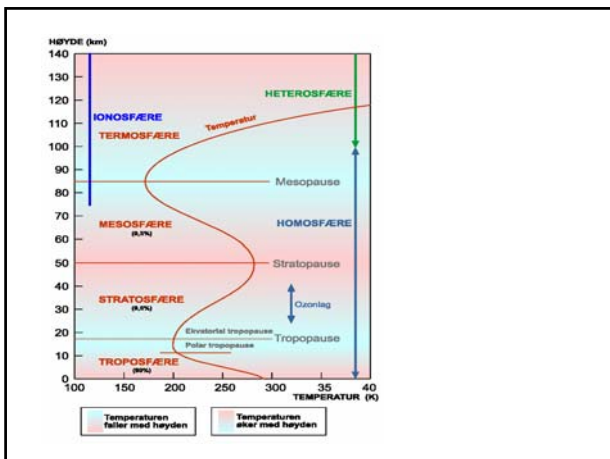
- Intensiteten av feltet ved polen er to ganger styrken av feltet ved ekvator – som er ca. 30.000 nT.
- Intensiteten av feltet utenfor jorden avtar med tredje potens av avstanden fra jordens sentrum.

Jordens magnetfelt

- Magnetfeltet beskytter mot kosmisk stråling (slipper inn noe ved polene, nordlys)
- Styrer partikkelstrømmer og dominerer bevegelsen til ladde partikler, kalt magnetosfæren
- Forskning på jordens magnetfelt viktig historisk for Norge (Birkeland(nordlys og Hydro))
- Magnetfeltet er ikke konstant (langsomme forandringer)
- Kilden er elektriske strømmer i jordens indre
- Raske endringer omkring polene (10-30° fra magnetisk pol)

Magnetosfæren

- Grenser nedad mot ionosfæren ca 500km
- Har ulike rekkevidde på sol og skygge siden p.g.a solvinden (proton vind), flere jordradier (6378 km)
- Forstyrrelser av magnetfeltet på grunn av solvinden og bevegelser i ionosfærelaget under
- Rekkevidden av det nære verdensrom definert der trykket fra solvinden er lik trykket fra magnetfeltet (150 000 km), satellitten soho
- <http://sohowww.nascom.nasa.gov/bestofsoho>



Ionosfæren og nordlys

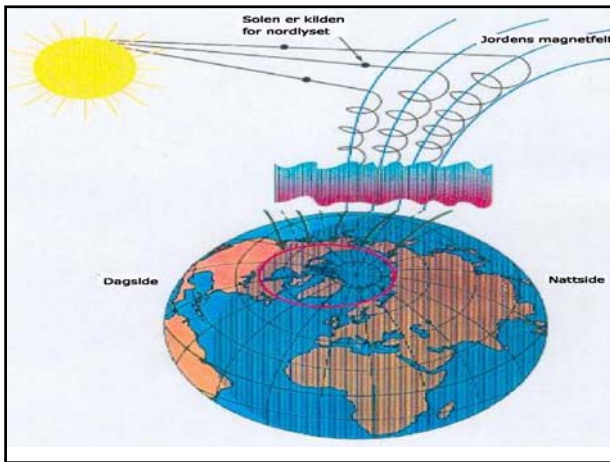
Ionosfæren er definert som det høydeområdet i jordens atmosfære der konsentrasjonen av frie elektroner (ne) er så stor at den påvirker radiobølger.

Vi sier at atmosfæren er ionisert, dvs. den er elektrisk ledende. Det finnes også like mange positive ioner, men på grunn av deres relativt store masse vil de ikke påvirke radiobølgene.

Ionosfæren ble oppdaget ved at man observerte at radiobølger kunne forplante seg over store avstander.

Man måtte derfor anta at det eksisterte elektrisk ledende lag i den øvre atmosfære som kunne speile/reflektere bølgene.

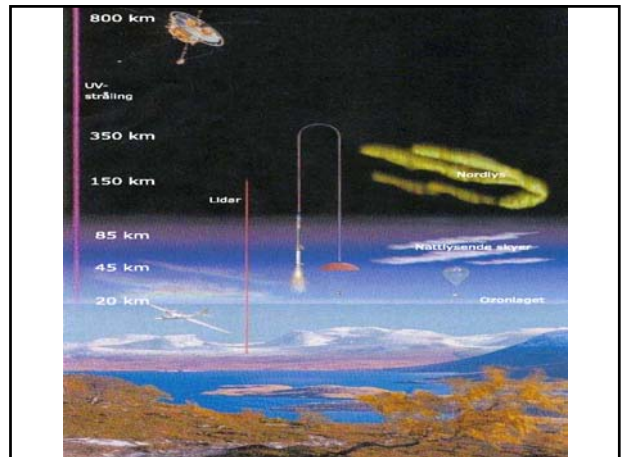
Ionosfæren dannes ved at energirik elektromagnetisk- og partikkelstråling fra solen og verdensrommet ioniserer luftmolekylene og atomene. De fysiske og kjemiske bindingene i gassmolekylene og atomene brytes lett av høyenergetisk stråling. Frie elektroner og ioner dannes i den øvre atmosfære. Dette plasmaet er svakt ionisert.



Oppsummering

Oppsummering

- Atmosfæren – tynn i forhold til jordradius
- Solaktivitet bestemmer forholdene i det nære verdensrom
- Over 100 km kjennetegnes forholdene med ekstrem lag tetthet (vakum), høyt strålenivå (partikler og EM), høye temperaturer, dominerende magnetfelt.



Oppgave

Hva er miljøet for ulike systemer?

- Fly: 10-20 km
- Værballong: 40-50 km
- Romfergen: 350 km
- Polarbane satellitter: 700 km
- Geostasjonære satellitter: 36000km
- Spesielle oppdrag (soho): 130000 km

Tilleggs litteratur

- God oversikt: NAROM Fysikk (Egeland og Cadow)
 - http://www.romteknologi.no/view_html?b=38
- G. Stette Romteknologi, 2004, kap 4.
- M.Salby Fundamentals of Atmospheric Physics, 1996