

## Les 8

# Atmosfeerfysica en -chemie

Inleiding tot de wetenschappen van de atmosfeer

Auteur: Erik de Schrijver

# Inhoud

- Geschiedenis van het onderzoek
- Lagen van de atmosfeer
- Druk-, temperatuur- en dichtheidsgradiënten
- Chemische samenstelling
- Stralingseffecten
- Meteorieten en terugkerende ruimteschepen
- Electromagnetisme
- **Planetaire atmosferen**

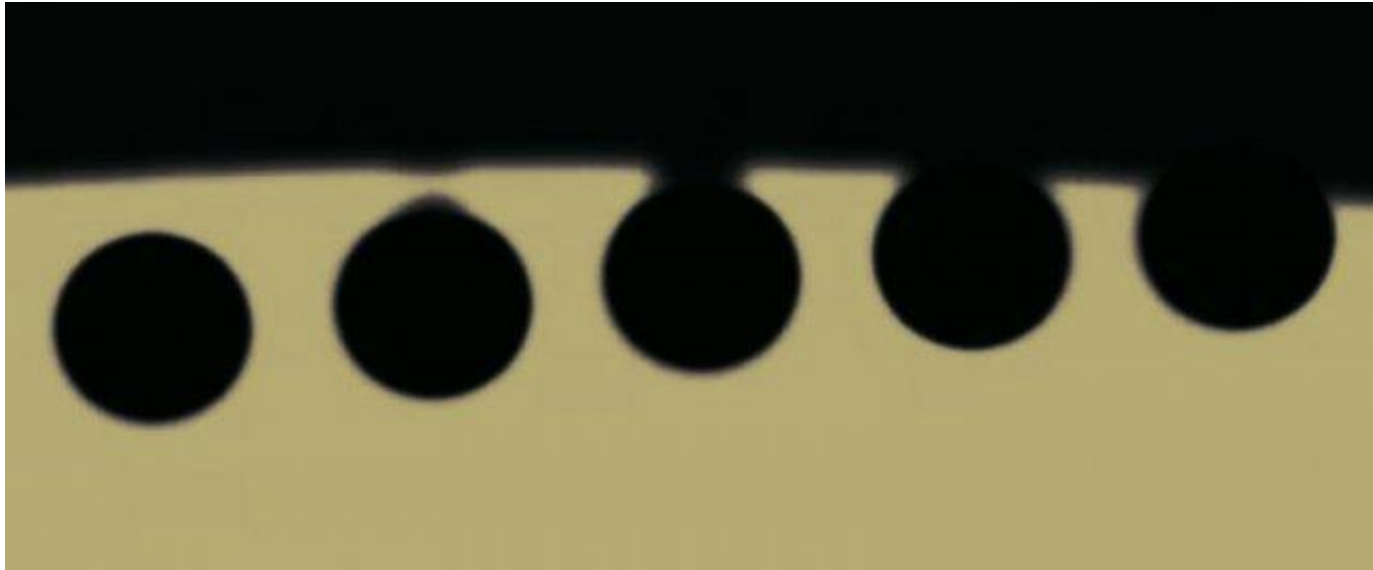
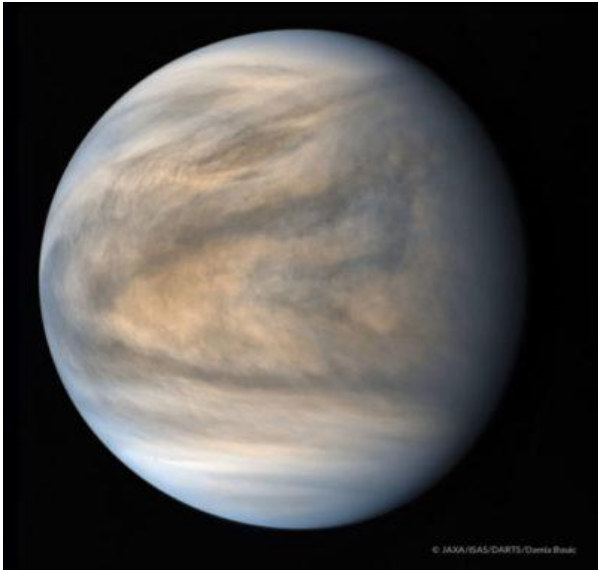


# Les 8: Planetaire atmosferen

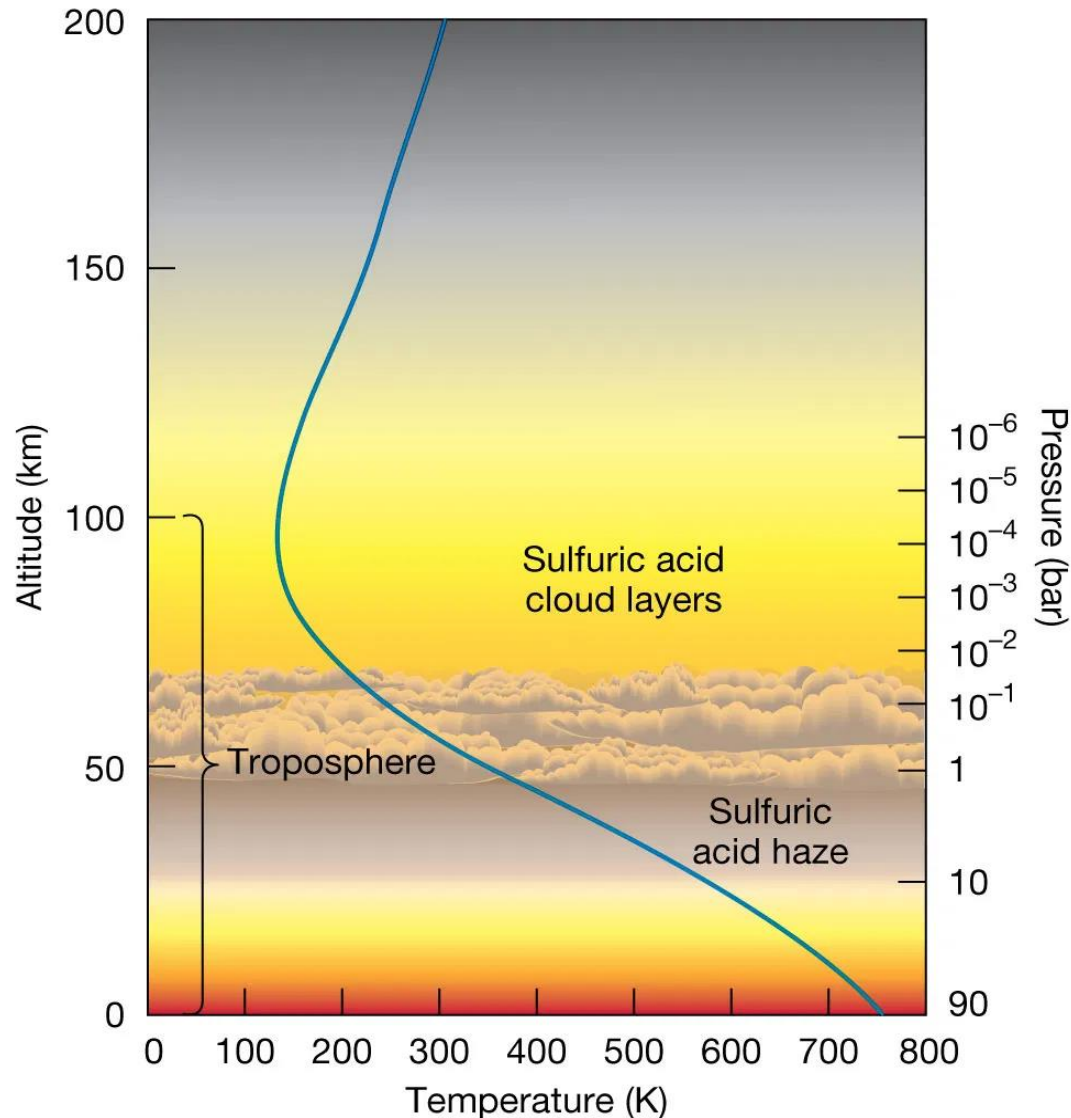
Elk hemellichaam met meer zwaartekracht dan er op die afstand van de zon stralingsdruk is vanwege het zonlicht zal in staat zijn gasmoleculen gravitationeel aan zich te binden. Dat zal dus per definitie beter lukken in de buitenregionen van het zonnestelsel waar het zonlicht minder intens is.

Hoewel de studie van de erg ijle atmosferen van bvb. Mercurius, de Maan en de grote manen van Jupiter een bijzonder boeiende wetenschap is waarin recent belangrijke vooruitgang werd geboekt, zullen we ons in deze lessenreeks beperken tot de 'dikke' atmosferen van Mars, Jupiter en de grootste maan van Saturnus: Titan.

## Venus



De atmosfeer van Venus is ontdekt in 1791 door M. V. Lomonosov (St Petersburg) toen Venus over de zonneschijf schoof (een zeldzaam verschijnsel: de laatste keer was in 2005 en de volgende keer pas in 2117). In 1791 bewees het 'black drop effect' de aanwezigheid van een gaslaag die het licht van de zon verstrooide. (Links Venus in UV)



© 2011 Pearson Education, Inc.

De lagen in de aardse atmosfeer zijn gebaseerd op het temperatuurprofiel.

De thermische gradiënt ( $dT/dh$ ) verandert bij elke nieuwe laag.

Er is geen stratosfeer op Venus want er is geen ozonlaag die een temperatuursinversie veroorzaakt.

De thermische gradiënt neemt licht af tot +/-65km wanneer hij begint te stijgen. De tropopause ligt dan ook op 65km, met daarboven de mesosfeer (die reikt tot +/-100km) dan begint de exosfeer.

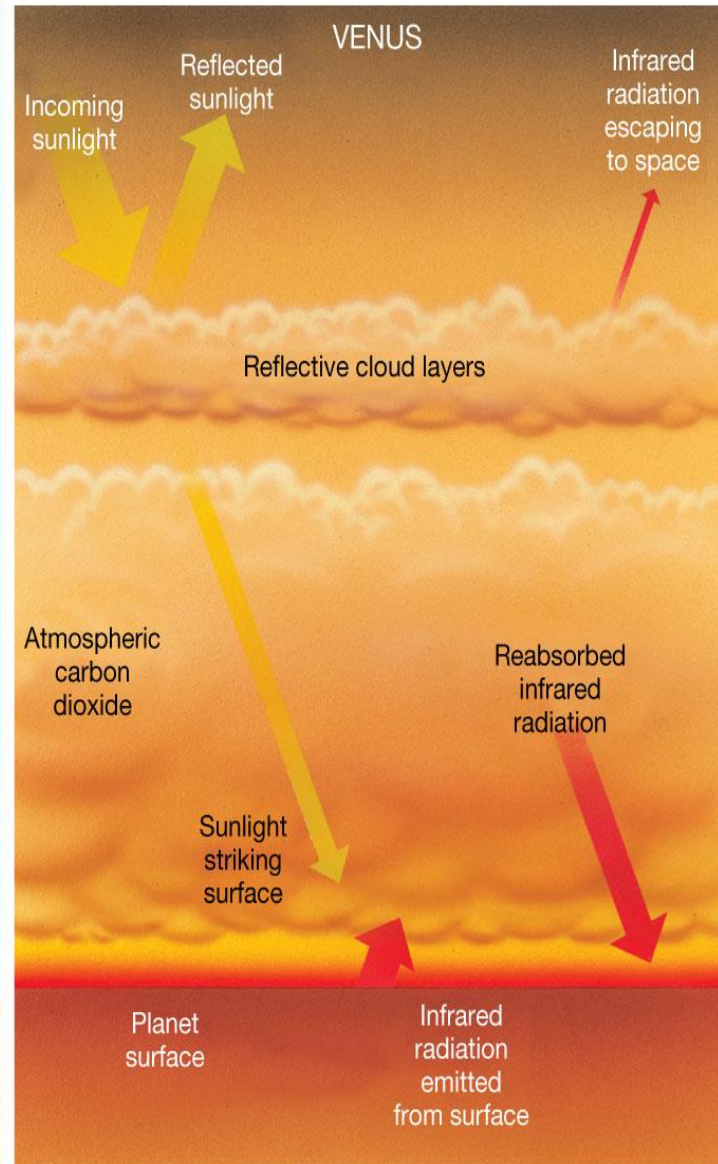
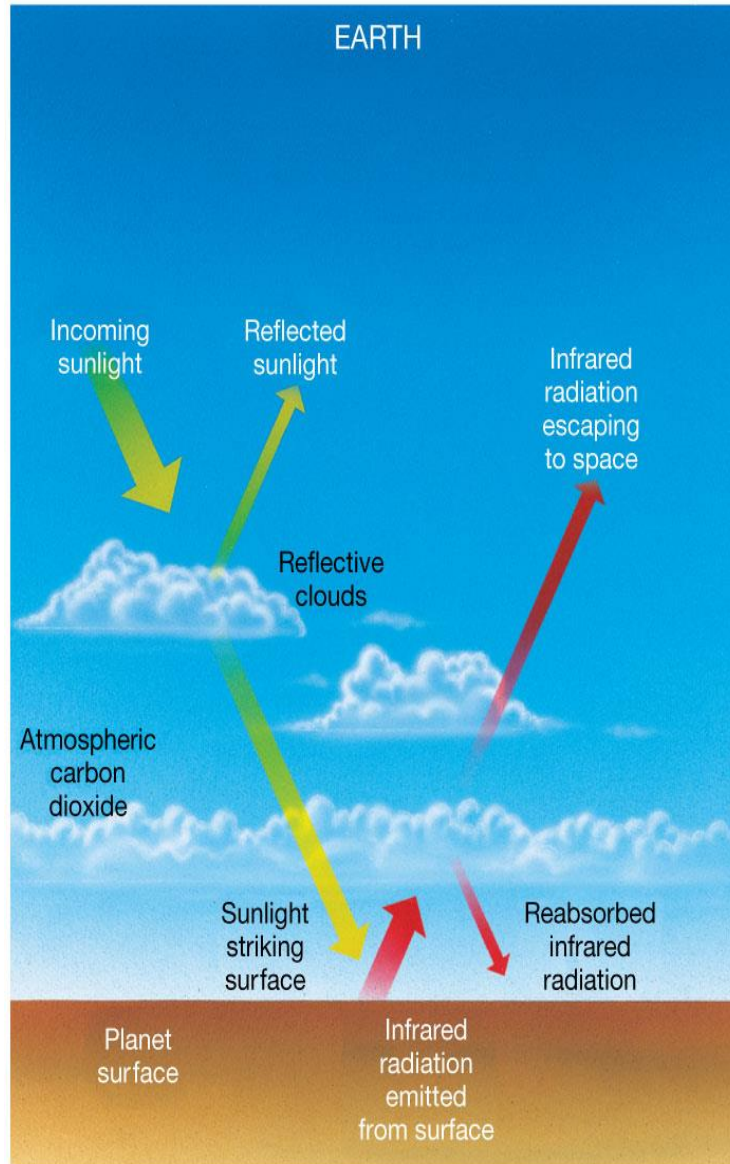
De atmosfeer van Venus is dus minder dik dan die van de Aarde, hoewel de dichtheid ervan aan het oppervlak veel groter is.

De oppervlaktetemperatuur van Venus ligt veel hoger dan wat zou verwacht worden op basis van de afstand tot de zon: Mercurius (op 0,3AE) van de zon heeft een gemiddelde oppervlaktetemperatuur aan de evenaar van 340K, bij Venus (op 0,7AE) is dat 740K.

Nu is  $0,7^2/0,3^2 = 5,5$  hetgeen betekent dat  $1\text{m}^2$  Venusoppervlak 5,5 keer minder energie ontvangt dan  $1\text{m}^2$  Mercuriusoppervlak. Toch is Venus veel warmer dan Mercurius.

Studies van Venus in het IR vertellen echter enkel iets over de temperatuur en de samenstelling van de wolken: er is bijzonder weinig water in de atmosfeer van Venus, maar bijzonder veel  $CO_2$ , een krachtig broeikasgas. Venuslanders hebben dat in-situ bevestigd:

$+/-96,5\% CO_2$  en  $+/-3,5\% N_2$ .

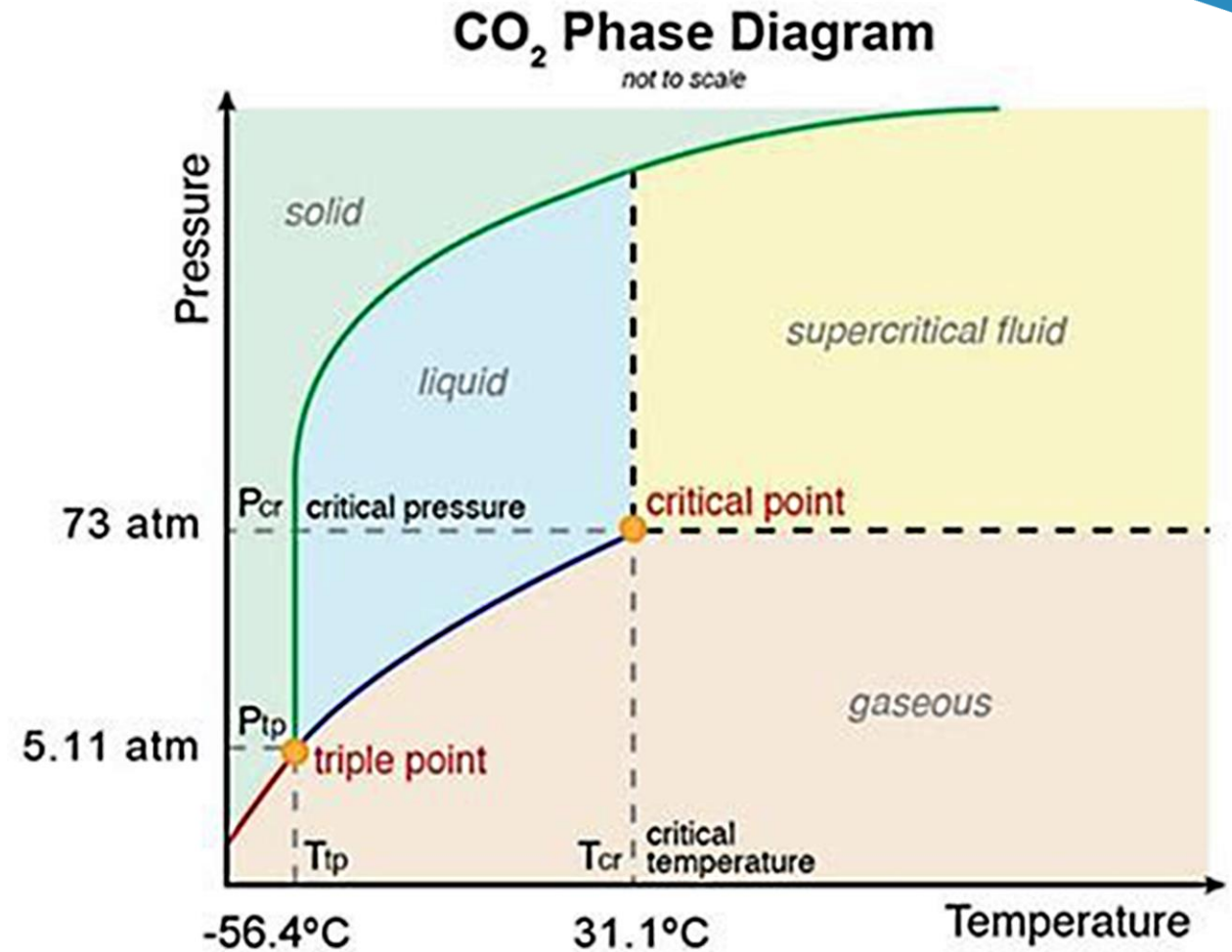


© 2011 Pearson Education, Inc.



Aan het oppervlak van Venus is  $CO_2$  een supercritische vloeistof.

Dit is een erg goede warmtegeleider, waardoor de warmte over de gehele planeet verdeeld wordt. Daardoor zal er zelfs tijdens de 56 dagen durende nacht op Venus amper afkoeling zijn.



Druk aan het oppervlak:  $9.2 \text{ MPa}$  (*Aarde: 0,1013MPa*)

Samenstelling (volumeprocent, afgerond):

96.5%  $\text{CO}_2$

3.5%  $\text{N}_2$

En verder:

0.015%  $\text{SO}_2$ , 0.0070%  $\text{Ar}$ , 0.0020%  $\text{H}_2\text{O}$ , 0.0017%  $\text{CO}$ ,

0.0012%  $\text{He}$  en 0.0007%  $\text{Ne}$

Maar ook sporen van carbonylsulfide, waterstofchloride, waterstoffluoride.

## Oefening 1:

Bereken de concentratie  $CO_2$  in massaprocent.

$$C(CO_2) = 96,5V\%, C(N_2) = 3,5V\%$$

## Oefening 2:

Bereken de (benaderde) massadichtheid van de atmosfeer van Venus aan het oppervlak.

Gegeven:  $T = 740K$ ,  $P = 9,2MPa$ ,  $C(CO_2) = 96,5V\%$ ,  $C(N_2) = 3,5V\%$ .

(Hint: gebruik de Universele Gaswet)

**Oefening 1:**

Oplissing:  $C(CO_2) = 98M\%$ ,  $C(N_2) = 2,3M\%$

Bereken de concentratie  $CO_2$  in massaprocent.

$$C(CO_2) = 96,5V\%, C(N_2) = 3,5V\%$$

**Oefening 2:**

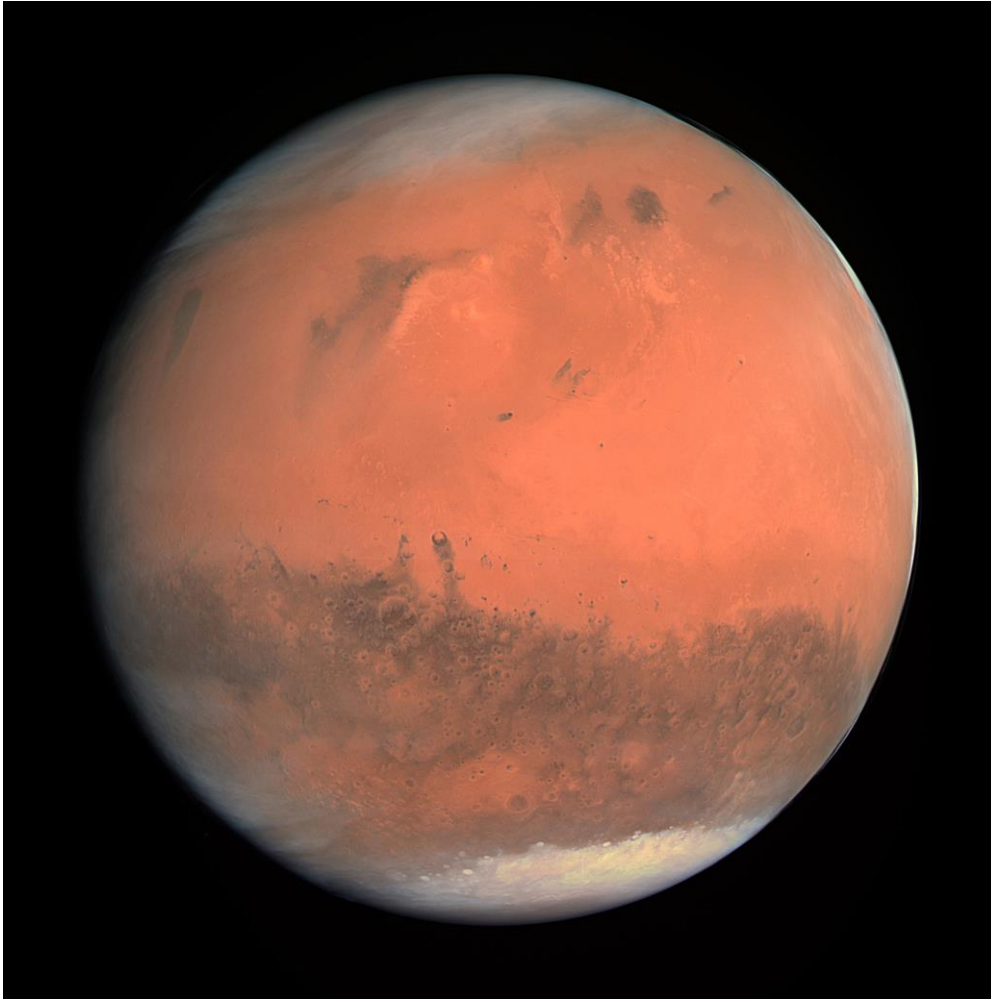
Oplissing:  $65 \text{ kg/m}^3$

Bereken de (benaderde) massadichtheid van de atmosfeer van Venus aan het oppervlak.

Gegeven:  $T = 740K$ ,  $P = 9,2MPa$ ,  $C(CO_2) = 96,5V\%$ ,  $C(N_2) = 3,5V\%$ .

(Hint: gebruik de Universele Gaswet)

## Mars



Qua afmetingen mag Venus dan al beter op de Aarde lijken, toch is Mars meer onze tweelingplaneet: er zijn seizoenen, poolkappen, een dag duurt er 24u37m.

De seizoenen zijn een gevolg van de helling van de rotatieas, voor Mars  $25,19^\circ$ , voor de Aarde  $27,44^\circ$ . Op 1,5AE v/d zon en zonder dikke atmosfeer en dito broeikaseffect is Mars wel koud: 210K ( $-63^\circ\text{C}$ ).



Mars heeft een ijle atmosfeer: de luchtdruk a/h oppervlak bedraagt slechts  $\pm 6 \cdot 10^2 Pa$

(*Venus*  $\approx 10^7 Pa$ , *Aarde*  $\approx 10^5 Pa$ ).

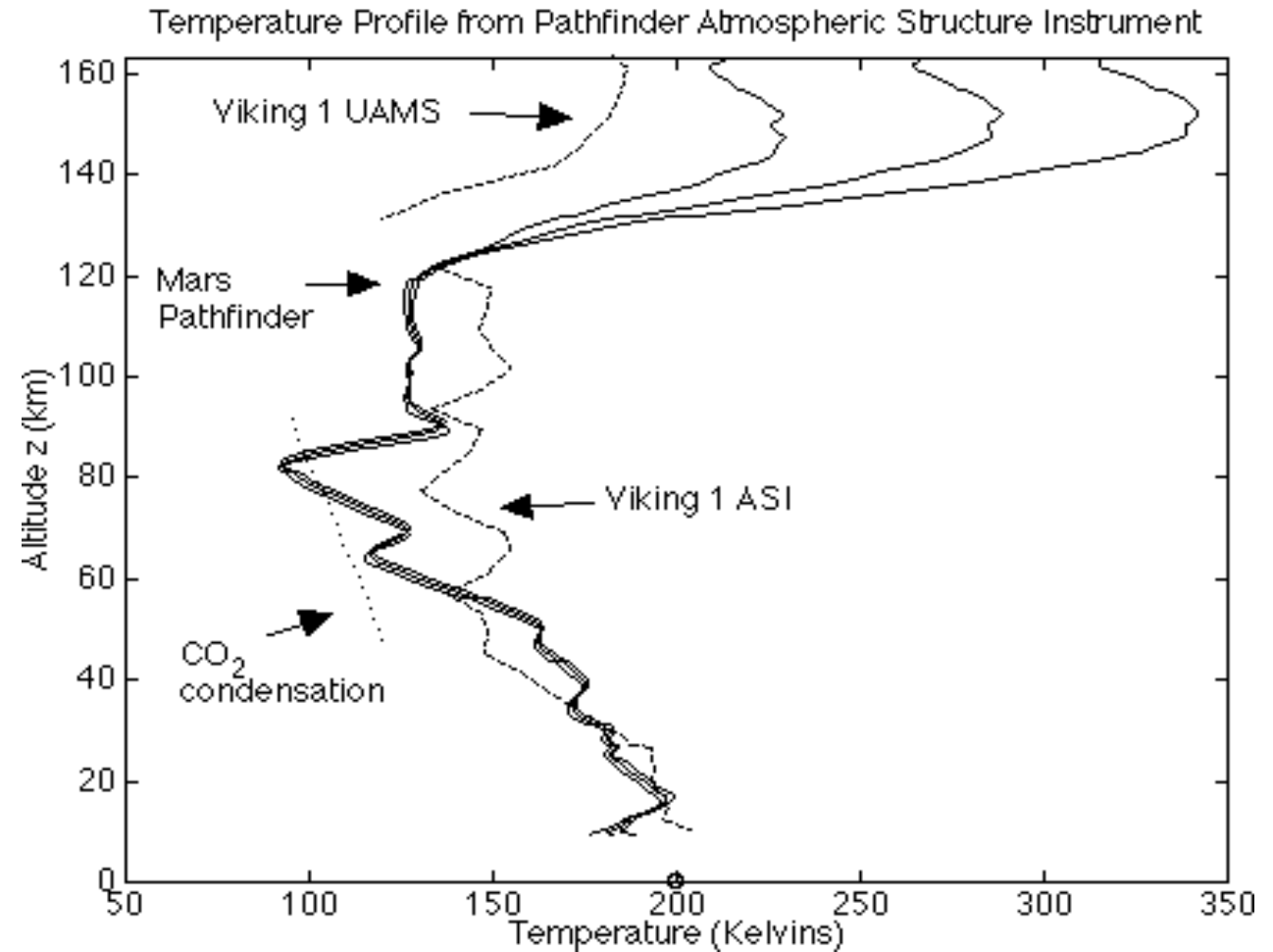
Ruimtesonde Maven heeft vastgesteld dat door de afwezigheid van magneetveld de zonnewind de bovenste lagen van de atmosfeer vrij kan bereiken waardoor die over miljoenen jaren langzaam 'weggeblazen' wordt.

Nochtans had Mars vroeger wel een magneetveld.

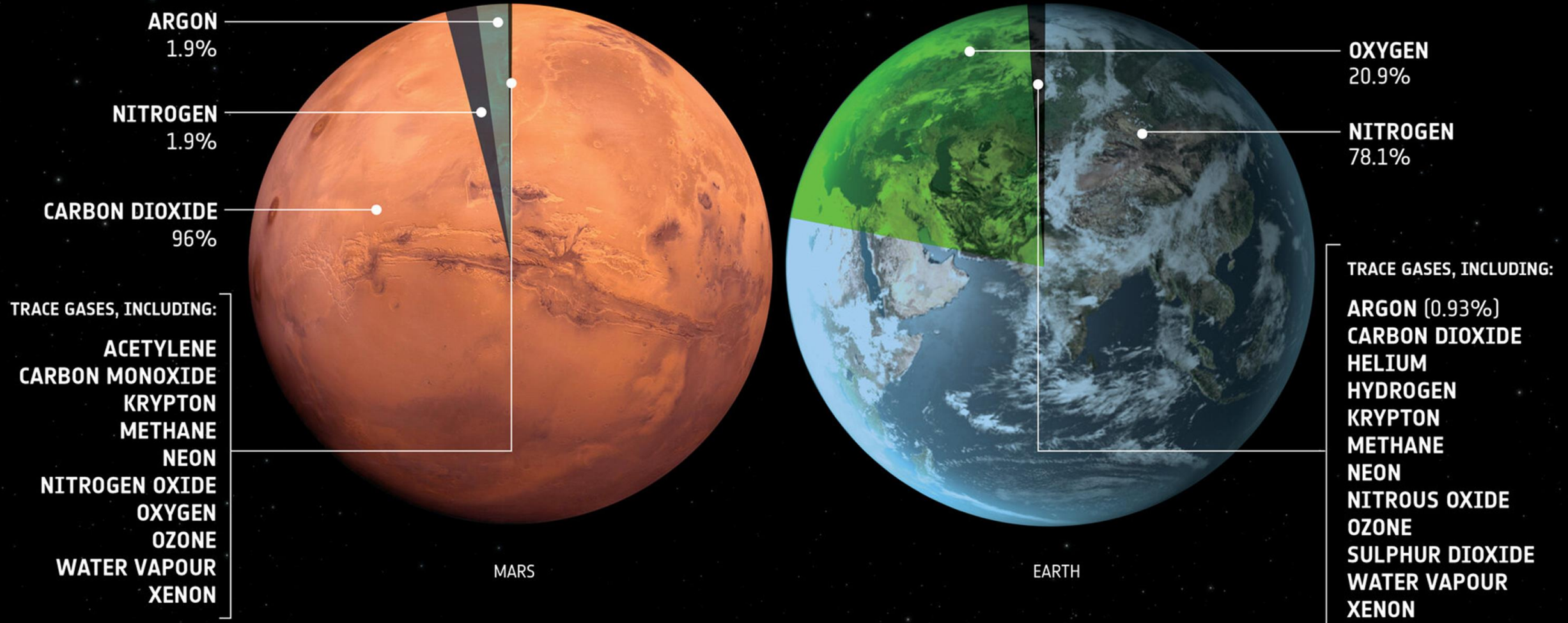
Op Mars is er geen ozonlaag die bijkomende lagen in de atmosfeer veroorzaakt zoals bij de Aarde.

Bijgevolg heeft Mars een atmosfeer die qua structuur meer lijkt op die van Venus dan op die van de Aarde.

De variabiliteit is echter groot, oa. tgv. de stofstormen.

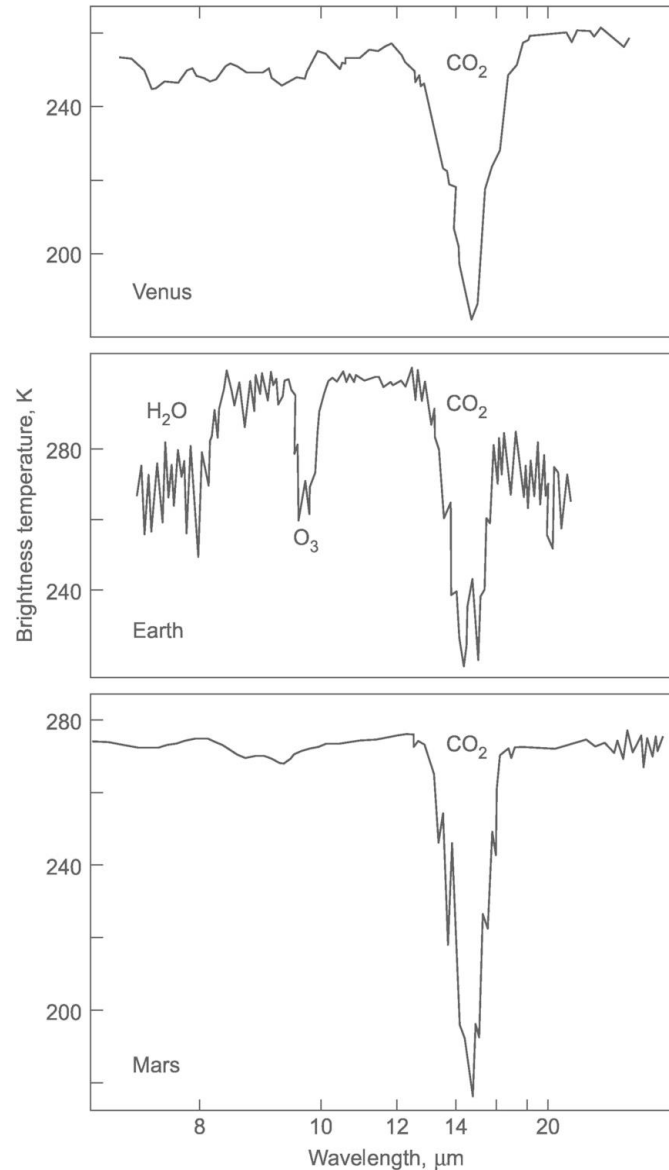


# → COMPARING THE ATMOSPHERES OF MARS AND EARTH



Atmospheric composition by volume | Planets not to scale | Atmosphere of Mars is less than 1% of Earth's | Trace gases listed alphabetically





Als we de thermische emissie van Venus, de Aarde en Mars vergelijken vallen enkele dingen meteen op:

- de drie planeten stralen merkbaar minder sterk rond  $15\mu\text{m}$ , wat een  $\text{CO}_2$ -absorptielijn is.
- Venus en Mars vertonen geen andere absorptielijnen, de Aarde wel: bij  $9,5\mu\text{m}$  en rond  $8\mu\text{m}$ , kenmerkend voor resp. ozon en waterdamp.

(Opm: Deze absorptiepieken zijn het gevolg van vibraties en rotaties van moleculen, niet van elektron-excitaties in atomen).

### Oefening 3:

Bereken de massa gas die boven  $1,00\text{cm}^2$  Marsoppervlak hangt als de luchtdruk aan het oppervlak =  $7,00\text{hPa}$ .

Gegeven:  $g(\text{Mars}) = 3,74\text{m/s}^2$ .

### Oefening 4:

Bereken de massadichtheid van de Marsatmosfeer aan het oppervlak als je weet dat  $P = 6,00\text{hPa}$ ,  $T = 210\text{K}$ ,

$C(\text{CO}_2) = 95,6\text{V}\%$ ,  $C(\text{N}_2) = 2,6\text{V}\%$  en  $C(\text{Ar}) = 1,9\text{V}\%$ .

**Oefening 3:**

Oplossing:  $1,87 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$

Bereken de massa gas die boven  $1,00\text{cm}^2$  Marsoppervlak hangt als de luchtdruk aan het oppervlak =  $7,00\text{hPa}$ .

Gegeven:  $g(\text{Mars}) = 3,74\text{m/s}^2$ .

**Oefening 4:**

Oplossing:  $0,15 \text{ kg/m}^3$

Bereken de massadichtheid van de Marsatmosfeer aan het oppervlak als je weet dat  $P = 6,00\text{hPa}$ ,  $T = 210\text{K}$ ,

$C(\text{CO}_2) = 95,6\text{V}\%$ ,  $C(\text{N}_2) = 2,6\text{V}\%$  en  $C(\text{Ar}) = 1,9 \text{ V}\%$ .

# Dingen om zelf op te zoeken

Venus, veel dichterbij de zon dan Mars (0,7AE tegen 1,5AE), heeft ook geen sterk magneetveld en toch een erg dikke atmosfeer. Zou de atmosfeer op Venus vroeger dan nog dikker zijn geweest? Wordt op Venus weggeblazen gas vervangen?

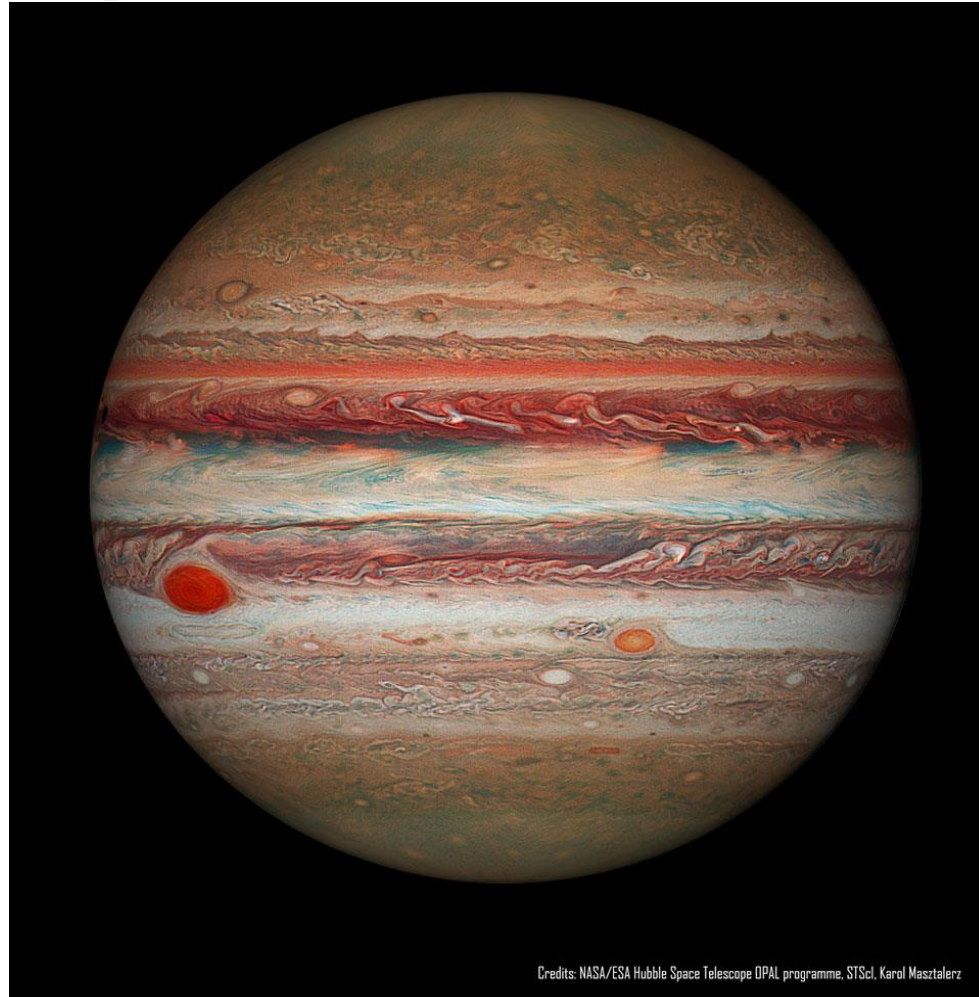
Of is er een andere factor die Venus toelaat haar atmosfeer te behouden?

Hoe weten we zo zeker dat Mars vroeger wél een sterk planetair magneetveld heeft gehad (zoals de Aarde nu nog heeft)?

Waardoor is Mars dat magneetveld kwijtgespeeld?

**Einde Deel 1**

# Jupiter



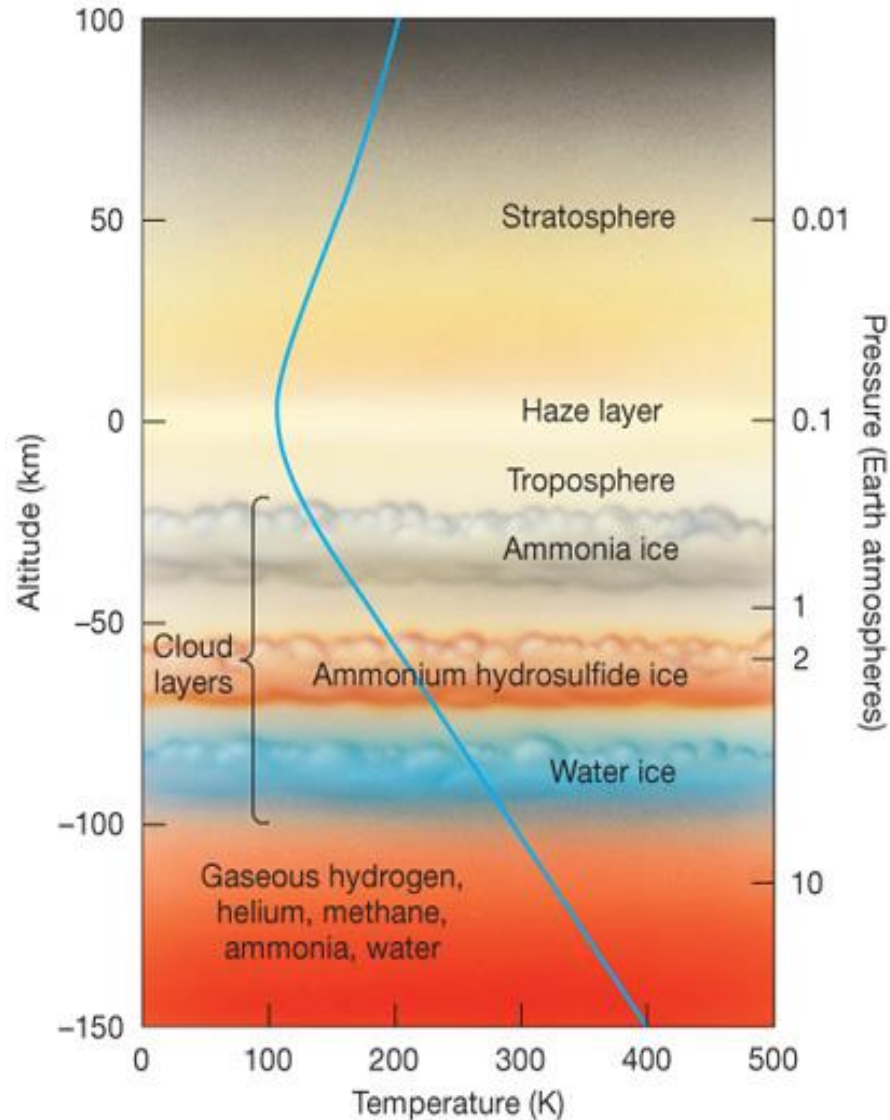
Credits: NASA/ESA Hubble Space Telescope OPAL programme, STScI, Karol Masztalerz

Jupiter is een gasreus met een atmosfeer van 75M% waterstof en 24M% helium in de zichtbare buitenste lagen.

Dieper binnenin komen meer zware elementen voor, en i/h centrum bevindt zich een kleine diffuse, niet echt vaste kern, zo heeft de sonde Juno ontdekt.



De grote rode vlek is een anticycloon (gebied van hoge luchtdruk), verschillende malen groter dan de Aarde. Hij is met zekerheid waargenomen sinds 1878, maar mogelijk al sinds 1664. De storm steekt uit boven het omliggende wolkendek, en verwarmt de hogere atmosfeer erboven.



Men kan in de atmosfeer van Jupiter dezelfde lagen onderscheiden als bij de Aarde, met 1 verschil: Jupiter heeft geen mesosfeer.

Aan de onderkant v/d troposfeer zijn druk en temperatuur hoger dan het kritisch punt van zowel waterstof als helium.

Als gevolg daarvan gaat de atmosfeer naadloos over in een superkritische vloeistof.

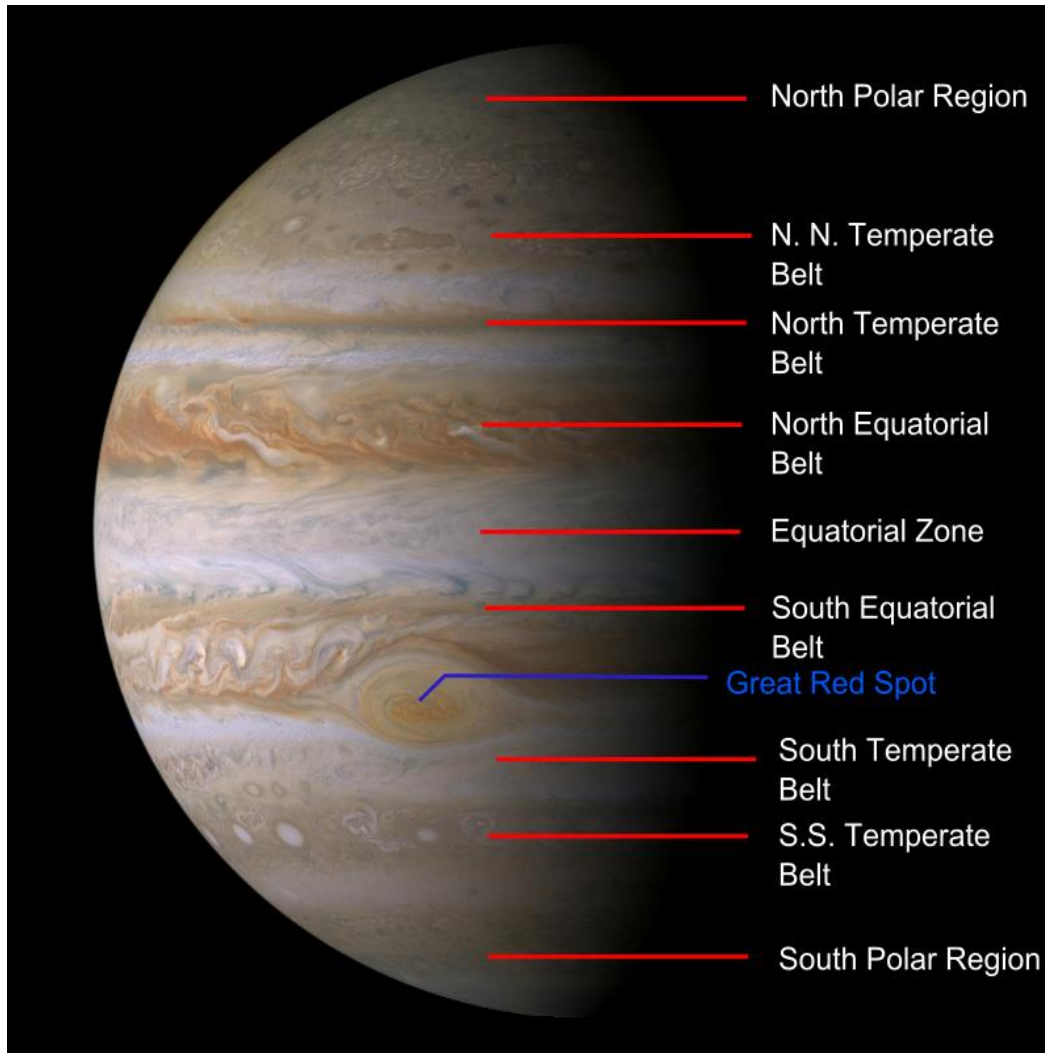
Bij conventie wordt het niveau waarop de druk gelijk is aan  $100\text{kPa}$  ( $1\text{bar}$ ) als nulhoogte gedefinieerd.

Op  $\pm 90\text{km}$  daaronder worden waterstof en helium supercritische vloeistoffen, waardoor  $-90\text{km}$  als beginhoogte voor de troposfeer wordt gebruikt. De nulhoogte is ook de plaats waar zich de wolken bevinden die waarneembaar zijn in zichtbaar licht.

De tropopause bevindt zich  $\pm 50\text{km}$  hoger, bij een druk van  $10\text{kPa}$  en  $T \approx 110\text{K}$ . In de stratosfeer stijgt de temperatuur tot  $\pm 200\text{K}$  op  $320\text{km}$  hoogte (de stratopause), waar  $P = 0,1\text{Pa}$ .

In de thermosfeer stijgt de temperatuur verder tot zo'n  $1000\text{K}$  op  $1000\text{km}$  hoogte, waar  $P = 100\mu\text{Pa}$ .



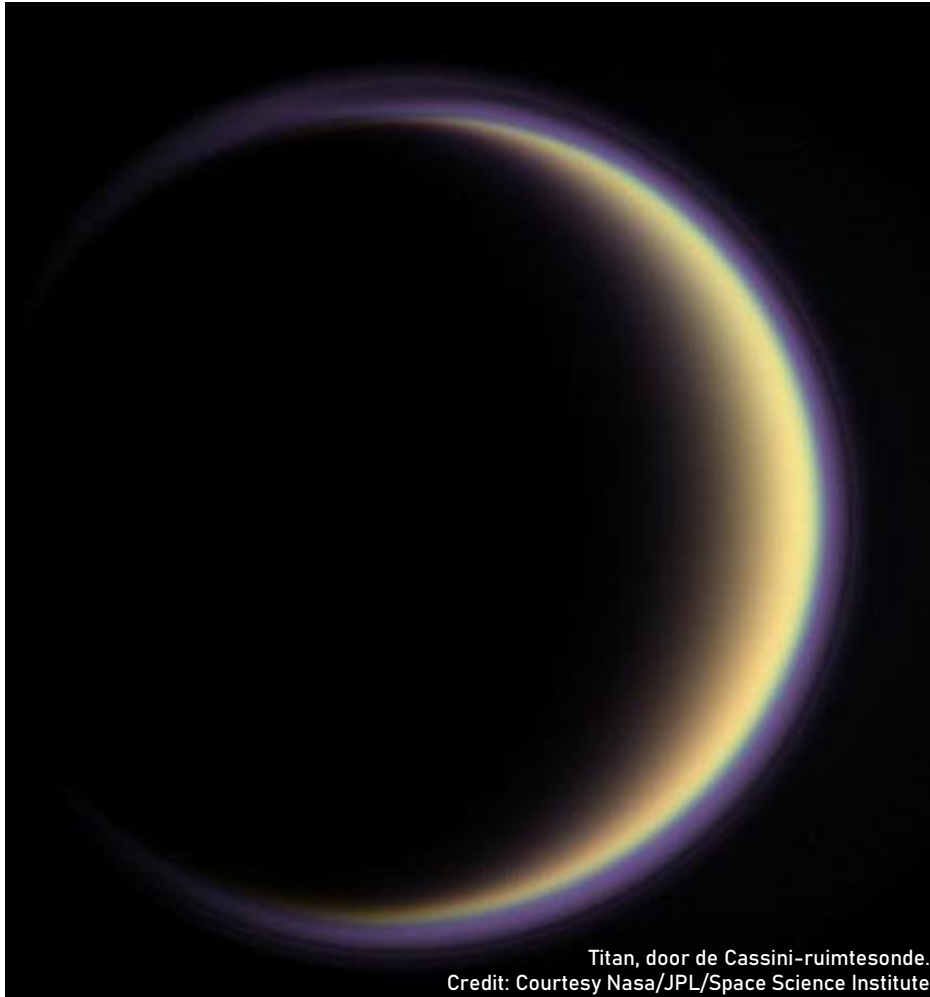


Zelfs met een kleine telescoop is het verschil tussen de lichte 'zones' en donkere 'banden' te zien.

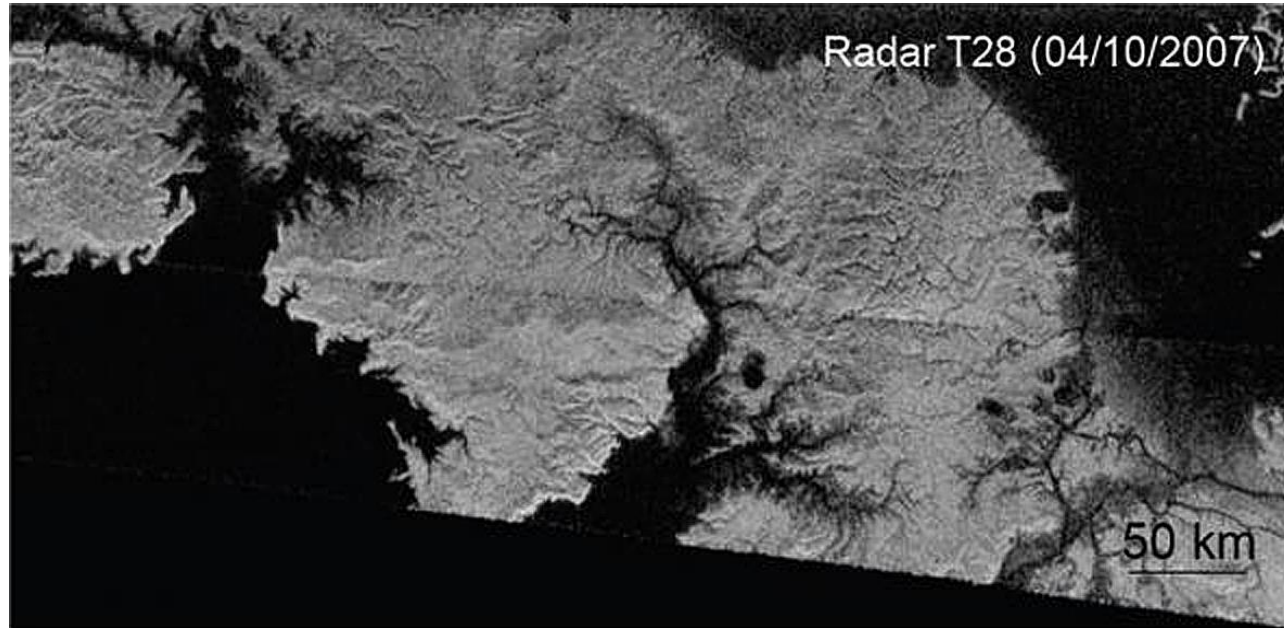
In de zones komt meer ammoniak voor, die ijskristallen vormt op grote hoogte, waardoor de zones lichter kleuren.

Waarschijnlijk zijn de kleuren te wijten aan zwavel-, fosfor- en koolstofverbindingen.

# Titan

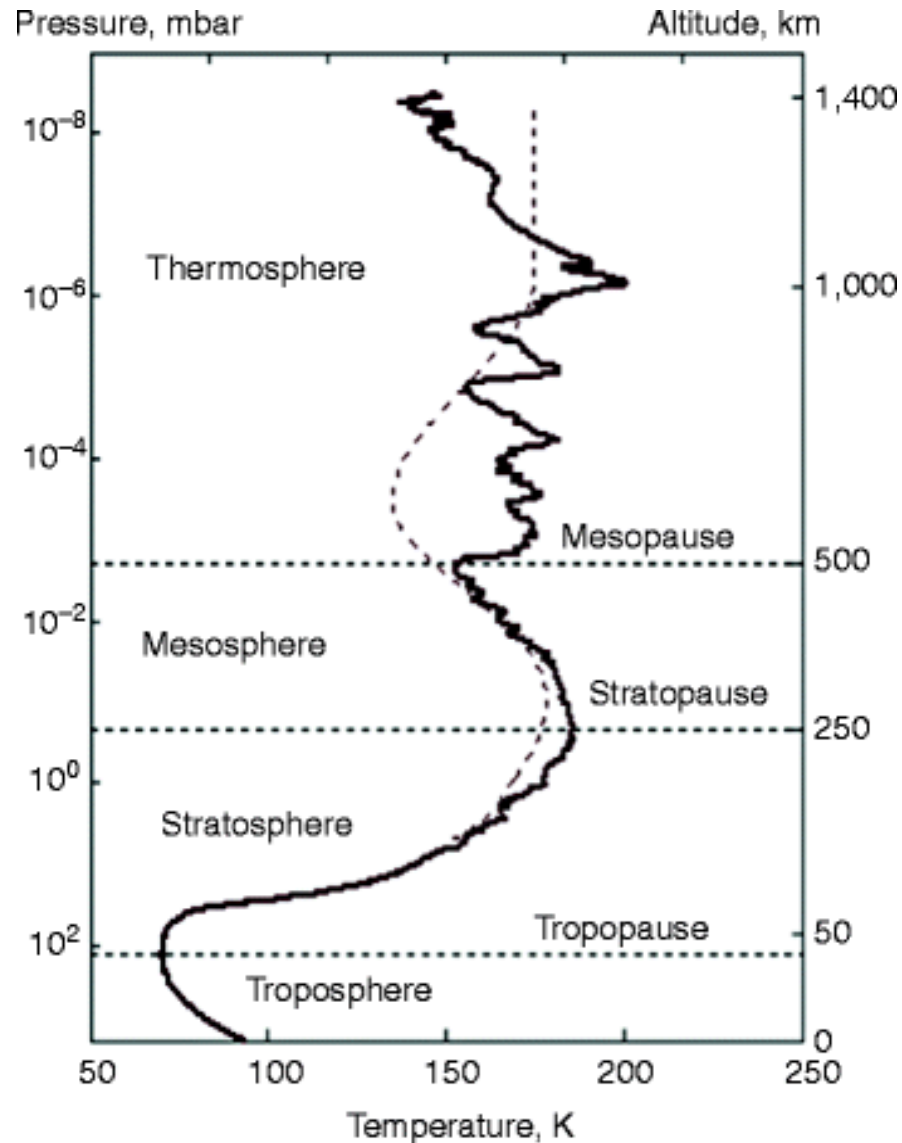


Titan is niet alleen de grootste maan van Saturnus, het is ook de enige in het zonnestelsel met een dikke atmosfeer, en met vloeistof (methaan en ethaan) aan het oppervlak.



De atmosfeer bestaat vooral uit stikstof gas ( $N_2$ ), maar er zijn ook wolken van methaan en ethaan, en er hangt een stikstofrijke smog van organische verbindingen.

Het klimaat (incl. wind en regen) creëert oppervlakte-kenmerken die ook op Aarde voorkomen: duinen, rivieren, meren (wss.  $CH_4$  en  $C_2H_6$ ), deltamondingen. Er heersen ook seizoenen.



Op Titan bedraagt de luchtdruk aan het oppervlak ongeveer 1,45atm.

De totale massa van de atmosfeer is 1,19x die van de Aarde.

Door de geringere zwaartekracht ( $g=1,35\text{m/s}^2$ ) is de atmosfeer echter véél dikker.

Dezelfde lagen die voorkomen op Aarde komen ook terug in de atmosfeer van Titan, maar op verschillende hoogtes (zie figuur).

## Aanvulling

De Zon straalt  $3,94 \cdot 10^{26} W$  uit. Haar straal is  $7,0 \cdot 10^8 m$ , en alle energie die de zon uitstraalt wordt gelijkelijk verdeeld over een boloppervlak ( $= 4\pi r^2$ ).

Daardoor is:  $\Phi_1 \cdot opp_1 = \Phi_2 \cdot opp_2$

Aan het oppervlak van de zon is de flux dus:

$$\Phi = 3,94 \cdot 10^{26} / 4\pi \cdot r^2 = 3,94 \cdot 10^{26} / (4\pi \cdot (7 \cdot 10^8)^2) = 6,4 \cdot 10^7 W/m^2$$

Op de afstand van Aarde tot de zon ( $150 Gm$ ) is de zonneflux gedaald tot:

$$\begin{aligned}\Phi &= 3,94 \cdot 10^{26} / (4\pi \cdot r^2) \\ &= 3,94 \cdot 10^{26} / (4\pi \cdot (150 \cdot 10^9)^2) = 1393 W/m^2\end{aligned}$$

## Oefening 5:

Bereken de temperatuur die Venus ( $0,7AE$ ), de Aarde ( $1,0AE$ ), Mars ( $1,5AE$ ) en Titan ( $9,5AE$ ) zouden hebben indien het 'zwarte lichamen' (black body approximation) waren, dwz; er is totale absorptie, en er zijn geen atmosferische effecten (dwz. geen broeikaseffect).  $1AE = 150Gm$

Gebruik de Wet van Stefan-Boltzmann die voor zwarte lichamen stelt dat:  $\Phi = \sigma \cdot T^4$ , waarin  $\sigma =$  constante van S-B =  $5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ .

Let op: de flux  $\Phi$  bestrijkt een oppervlak  $\pi r^2$  loodrecht op de as met de zon, maar het totale oppervlak v/e planeet is  $4\pi r^2$ .

## Oefening 5:

Bereken de temperatuur die Venus ( $0,7AE$ ), de Aarde ( $1,0AE$ ), Mars ( $1,5AE$ ) en Titan ( $9,5AE$ ) zouden hebben indien het 'zwarte lichamen' (black body approximation) waren, dwz; er is totale absorptie, en er zijn geen atmosferische effecten (dwz. geen broeikaseffect).  $1AE = 150Gm$

Gebruik de Wet van Stefan-Boltzmann die voor zwarte lichamen stelt dat:  $\Phi = \sigma \cdot T^4$ , waarin  $\Phi =$  constante van S-B =  $5,67 \cdot 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$ .

Let op: de flux  $\Phi$  bestrijkt een oppervlak  $\pi r^2$  loodrecht op de as met de zon, maar het totale oppervlak v/e planeet is  $4\pi r^2$ .

**Oplossing:** Venus 335K, Aarde 280K, Mars 229K, Titan 91K

# Aanbevolen lectuur

- *Planets and their atmospheres, Origin and evolution. John S. Lewis & Ronald G. Prinn, Academic Press 1984, ISBN 0-12-446580-3, ISBN 0-12-446582-X(pbk)*
- *On Mars. Exploration of the Red Planet 1958-1978. E.C. Ezell and L.N. Ezell. Dover Publications Inc., Mineola New York. ISBN-13: 978-0-486-46757-3, ISBN-10: 0-486-46757-0.*
- *Mission Jupiter, The spectacular journey of the Galileo spacecraft. Daniel Fischer. 2001. Springer-Verlag. ISBN 0-387-98764-9.*
- *Cassini at Saturn. Huygens results. 2007. Praxis Publishing Ltd. ISBN-10: 0-387-26129-X, ISBN-13: 978-0-387-26129-4.*
- *Titan unveiled. Saturn's mysterious moon explored. R. Lorenz and J. Mitton. 2008. Princeton University Press. ISBN: 978-0-691-12587-9*



# Aanbevolen videomateriaal

- <https://www.youtube.com/watch?v=kzNuDkI8xB8>