


## Les 2

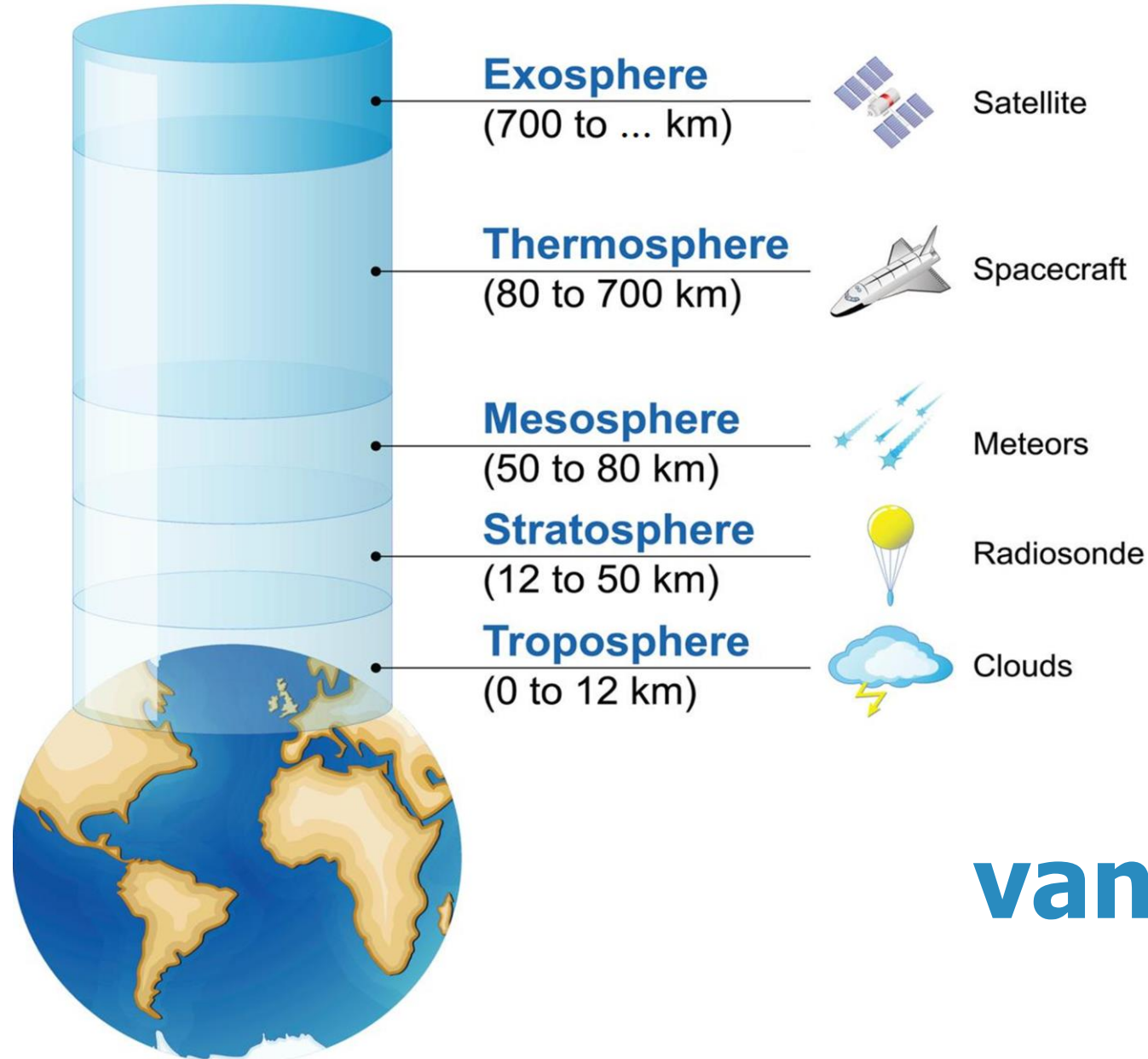
# Atmosfeerfysica en -chemie

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 2: Lagen van de atmosfeer

# De troposfeer

De troposfeer is waar het weer wordt gevormd: wolken, neerslag, ...

De troposfeer bevat ongeveer 80% van de massa van de atmosfeer, en wordt voortdurend gemengd door zowel verticale als horizontale luchtstromen (*het oudgriekse 'tropos' verwijst naar beweging of menging*).

In de troposfeer daalt de temperatuur met de hoogte.

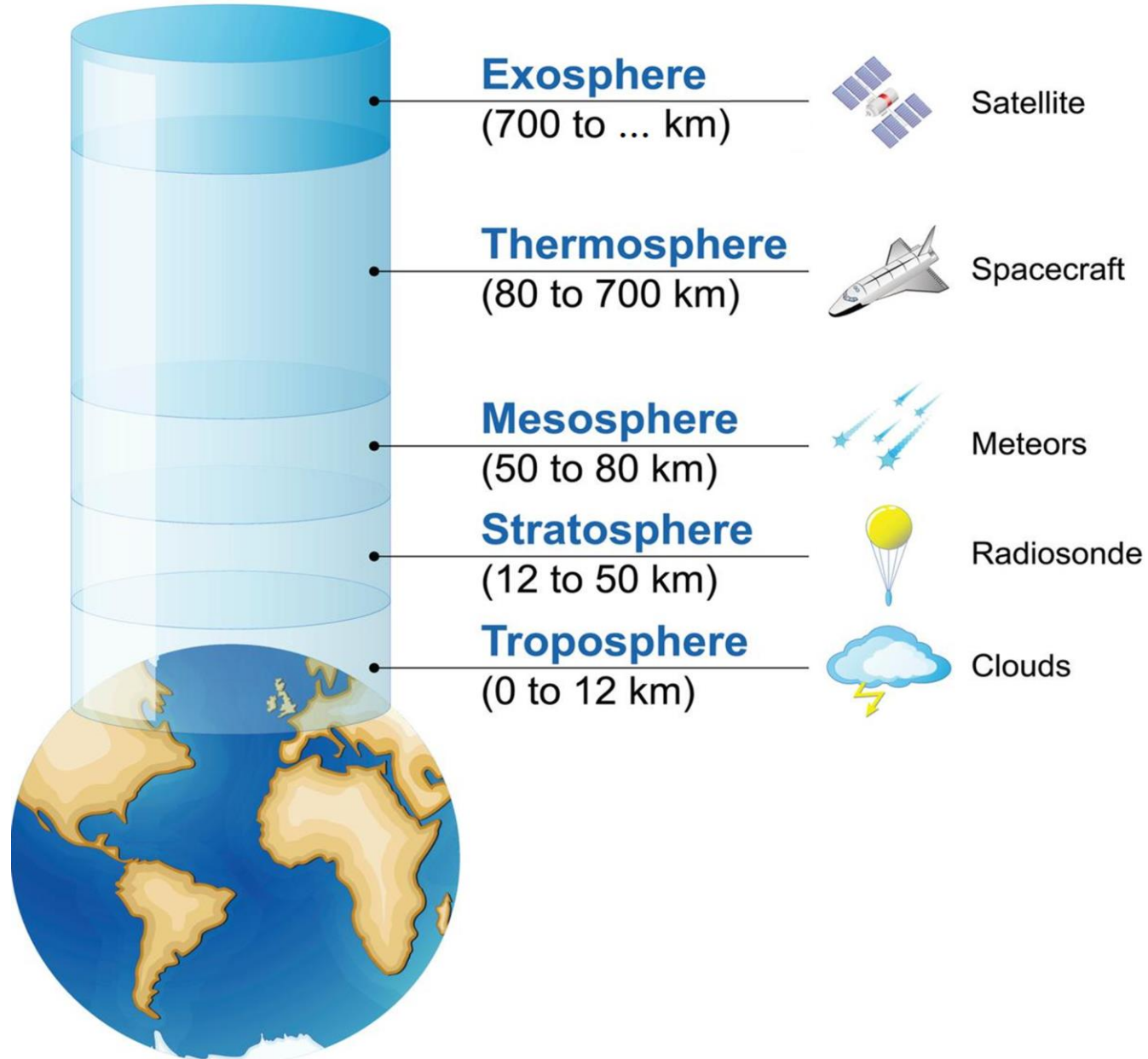
De getalwaarde van deze zgn. thermische gradiënt is ongeveer constant in de gehele troposfeer:  $-6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ .

Nabij de bovengrens van de troposfeer gaat de gradiënt naar nul (dwz. de temperatuur wordt constant). Dit bepaalt – per definitie – de bovengrens van de troposfeer, en wordt de **tropopause** genoemd.

De hoogte van de tropopause hangt af van de breedtegraad: laag boven de polen (6km), veel hoger boven de evenaar (16-18km).

Boven de tropopause inverteert de thermische gradiënt: de temperatuur stijgt nu met de hoogte. Dat gaat in tegen de intuïtie omdat de verwachting is dat de temperatuur lager zou liggen doordat het aardoppervlak – dat door de zon wordt verwarmd – verder weg ligt. De temperatuurstijging is evenwel te wijten aan absorptie van UV zonlicht door ozon.

Deze laag is de **stratosfeer**.



# De stratosfeer



In de stratosfeer zijn de luchtstromen meestal horizontaal, en is verticale menging quasi onbestaand.

De thermische gradiënt is  $> 0$ ,  $T$  stijgend van ongeveer  $-51^{\circ}\text{C}$  in de tropopause tot  $-15^{\circ}\text{C}$  à  $-5^{\circ}\text{C}$  aan de bovengrens van de stratosfeer, waar de gradiënt opnieuw van teken verandert.

Ook in de stratosfeer is de temperatuur afhankelijk van de breedtegraad en de seizoenen, met minima tijdens de polaire winters. Windsnelheden liggen gemiddeld hoger dan in de troposfeer, met maxima van  $60\text{m/s}$  in de Zuidelijke Polaire Vortex.

Terwijl de troposfeer van nature instabiel is (omdat koele luchtlagen gelegen zijn bovenop de lagen die door het aardoppervlak verwarmd worden en omdat warme lucht stijgt), is de stratosfeer inherent stabiel: de warmere luchtlagen liggen sowieso boven de koelere. Toch kunnen plaatselijk en tijdelijk verticale luchtstromen ontstaan, tgv. vulkaan-uitbarstingen bvb., of zeer hevige onweders.

De temperatuursinversie die de stratosfeer stabiel maakt wordt veroorzaakt door ozon ( $O_3$ ), die wordt gevormd door de binding van moleculaire zuurstof aan zuurstofradicalen. Deze ontstaan uit homolytische splitsing van  $O_2$  door absorptie van UV-C (golflengtes  $< 240\text{nm}$ ) van de zon.



## Oefening 1:

De bindingsenergie van  $O_2$  is 494kJ/mol. Bereken de maximale golflengte van een foton dat deze binding kan verbreken.

(constante van Planck:  $h = 6,6256 \cdot 10^{-34} Js$  en  $c = 3 \cdot 10^8 m/s$ )

## Oefening 2:

Als een ozon-molecule wordt gevormd uit  $O_2$  en een zuurstofradicaal, wordt er een foton gevormd met een golflengte van 330nm. Bereken de bindingsenergie van ozon in kJ/mol.

### Oefening 1:

**Oplossing:** 242 nm

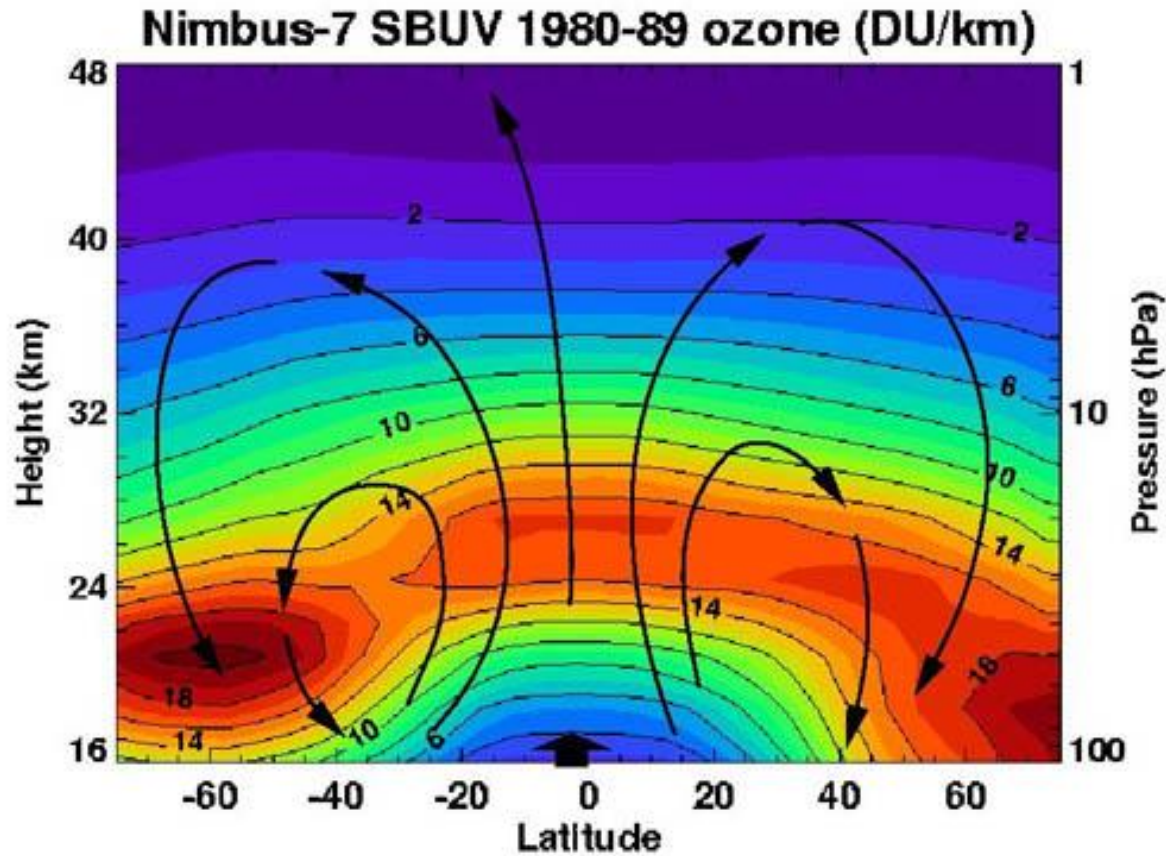
De bindingsenergie van  $O_2$  is 494kJ/mol. Bereken de maximale golflengte van een foton dat deze binding kan verbreken.

(constante van Planck:  $h = 6,6256 \cdot 10^{-34} Js$  en  $c = 3 \cdot 10^8 m/s$ )

### Oefening 2:

**Oplossing:** 364 kJ/mol

Als een ozon-molecule wordt gevormd uit  $O_2$  en een zuurstofradicaal, wordt er een foton gevormd met een golflengte van 330nm. Bereken de bindingsenergie van ozon in kJ/mol.



De luchtcirculatie in de stratosfeer is 1-cellig, en overspant alle breedtegraden van pool tot evenaar. Ze wordt Brewer-Dobson circulatie genoemd: lucht stijgt op in de tropen en komt neer over de polen. Het opstijgen is vooral te wijten aan westelijke Rossby-golven in de atmosfeer.

In ongeveer 1 op 2 winters kan absorptie van Rossby-golven in de stratosfeer leiden tot plotse stratosferische opwarming. Deze gaat gewoonlijk winterweer aan het aardoppervlak vooraf.

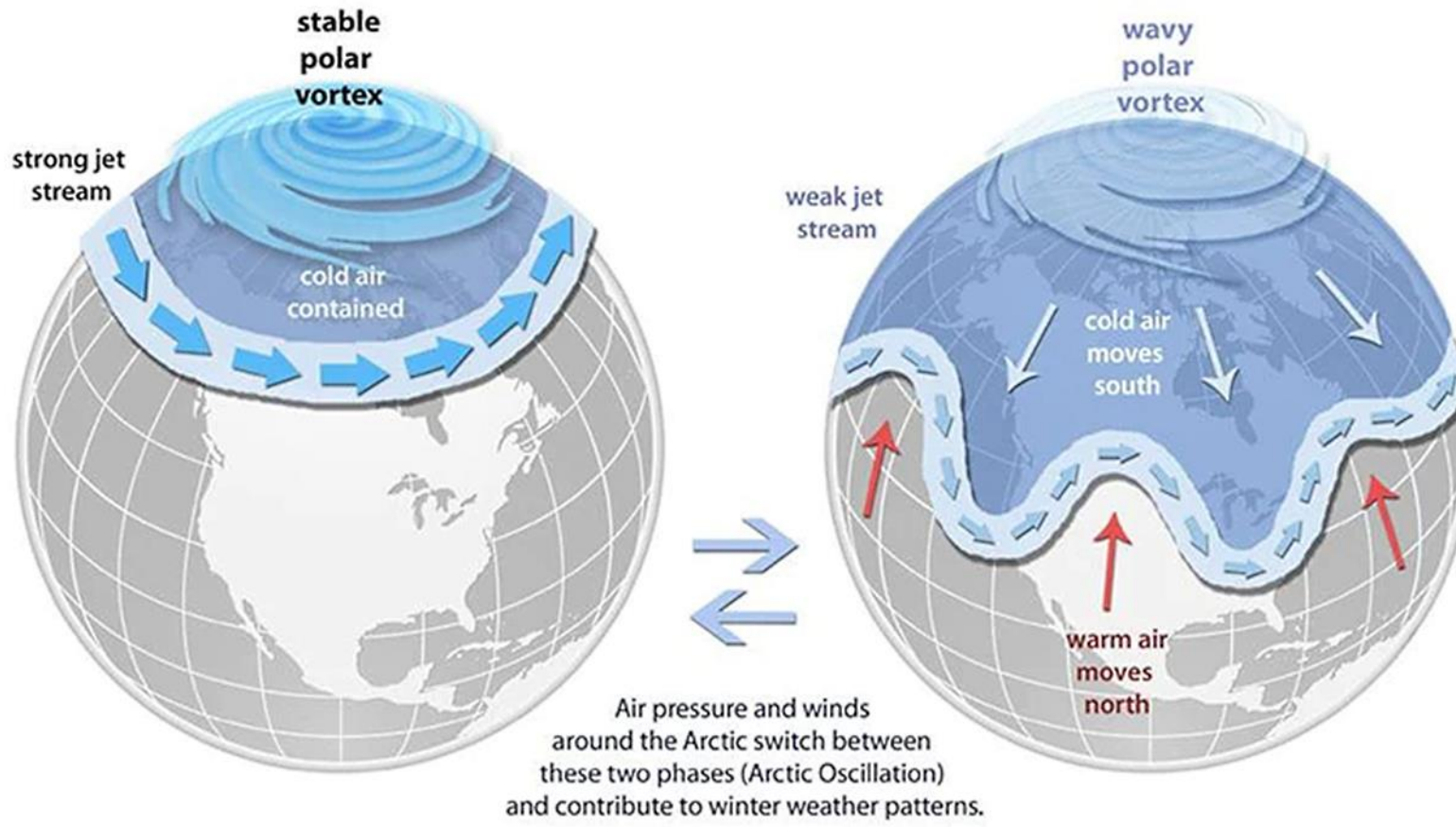
Een stratosferische polaire vortex (circulaire wind) ontwikkelt zich aan de polen, en keert tweemaal per jaar om, tijdens de lente en de herfst. Deze vortex houdt hoge luchtdruk vast op hoge breedtegraden gedurende de zomer en de winter.

Naarmate de stratosfeer opwarmt, wordt de vortex zwakker en het weer op gematigde breedtegraden instabieler.

# The Science Behind the Polar Vortex

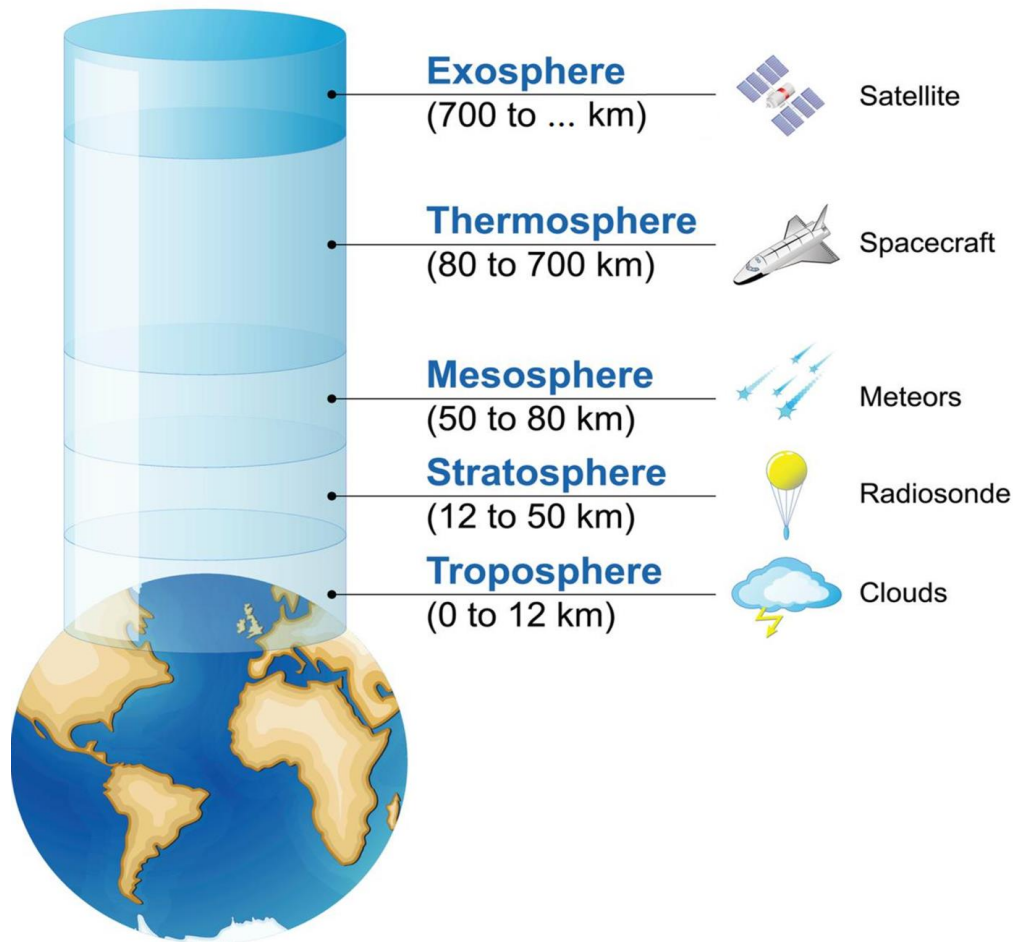
The polar vortex is a large area of low pressure and cold air surrounding the Earth's North and South poles. The term vortex refers to the counter-clockwise flow of air that helps keep the colder air close to the poles (left globe). Often during winter in the Northern Hemisphere, the polar vortex will become less stable and expand, sending cold Arctic air southward over the United States with the jet stream (right globe).

The polar vortex is nothing new — in fact, it's thought that the term first appeared in an 1853 issue of E. Littell's *Living Age*.





# De mesosfeer



De **mesosfeer** begint bij de **stratopause**, op 50 à 65km, waar de thermische gradiënt weer negatief wordt. Als gevolg daarvan is de top van de mesosfeer (85 à 100km) de koudste plaats in de atmosfeer, met temperaturen onder  $-145^{\circ}\text{C}$ .

Beide grenzen van de mesosfeer variëren met de breedtegraad en de seizoenen: hoog boven de evenaar en in de winter, lager boven de polen en in de zomer.

De term '*near space*' wordt gebruikt voor hoogtes tussen de Armstrong-limiet op  $\pm 18\text{km}$  en de Kármán-lijn op  $\pm 100\text{km}$ .

Boven  $18\text{km}$  is de luchtdruk zo laag dat bloed kookt beneden de lichaamstemperatuur: een drukpak is nodig om er te overleven.

Onder de  $100\text{km}$  is er teveel luchtweerstand om een satelliet toe te laten in een baan om de Aarde te blijven.



# Dingen om zelf op te zoeken

Atmosferische getijden, nachtelijke lichtgevende wolken, sommige types poollicht en ionosferische bliksem komen voor in deze zgn. 'midden-atmosfeer' (mesos = midden). Hier ontstaan ook 'vallende sterren' wanneer kleine stofdeeltjes uit de kosmos de atmosfeer binnendringen en opbranden. Daarbij ontstaat een lichtspoor dat we 'meteoor' noemen. Eventuele restanten die de grond bereiken zijn meteorieten.

De mesosfeer (50-100km) is moeilijk te bestuderen: te hoog voor ballonnen (max 45km), te laag voor satellieten, die opbranden in de atmosfeer als ze lager komen dan 100km. Daarom worden sondeerraketten gebruikt, maar deze laten slechts kortstondige metingen toe (seconden tot een paar minuten).

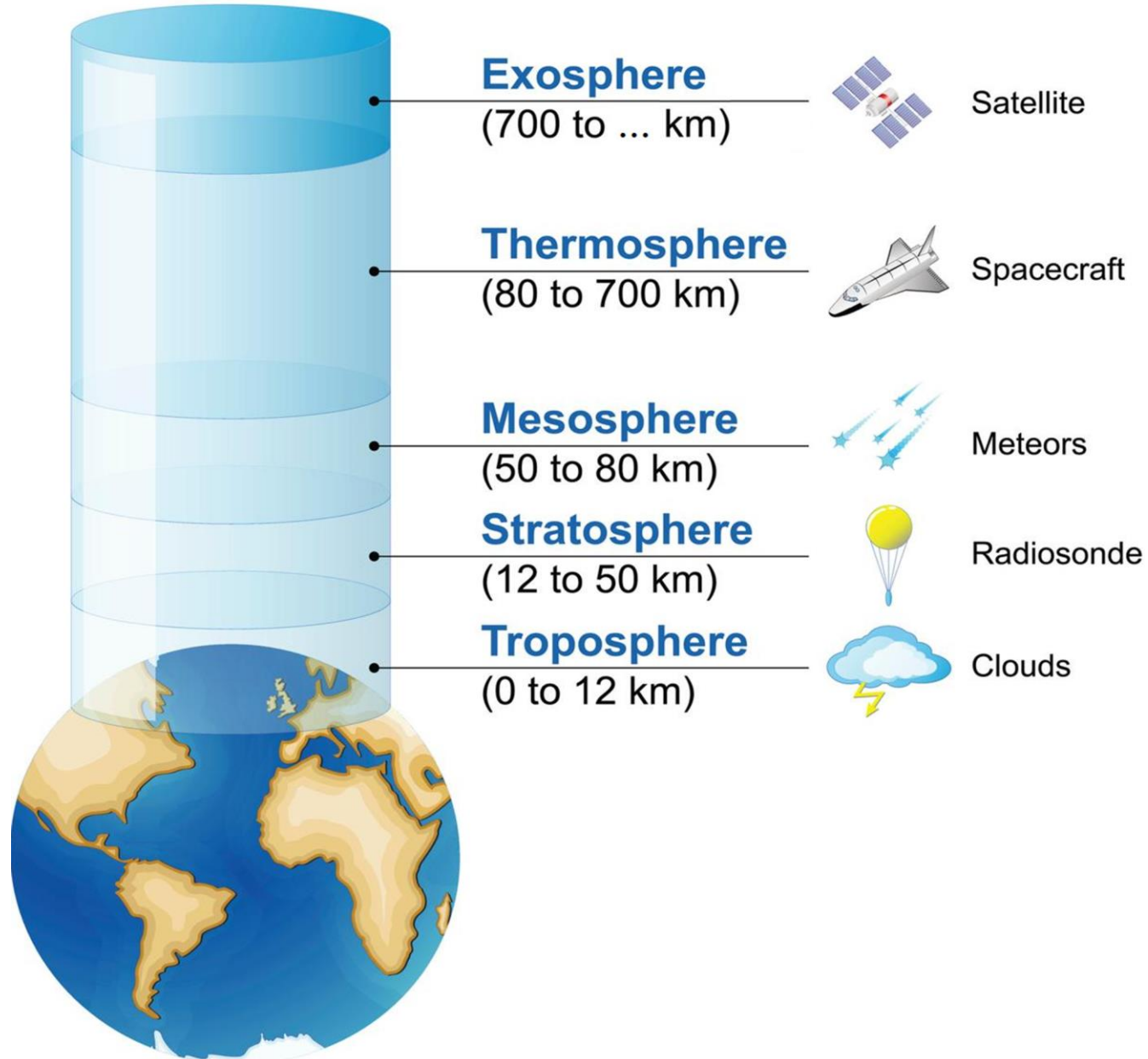


# Dingen om over na te denken

- Zou een hogere lichaamstemperatuur het mogelijk maken om (onbeschermd!) een grotere hoogte te overleven, of juist niet?
- Als een mens (onbeschermd!) met een ballon zou opstijgen naar grote hoogte, welke 3 dodelijke gevaren zouden er dan achtereenvolgens voorkomen? Stratosfeerballonnen bereiken doorgaans hoogtes van 30 à 45km.
- Op welke hoogte draaiden de eerste astronauten (Vostok, Mercury en Gemini) om de Aarde? Waarom zo laag?

# Dingen om over na te denken

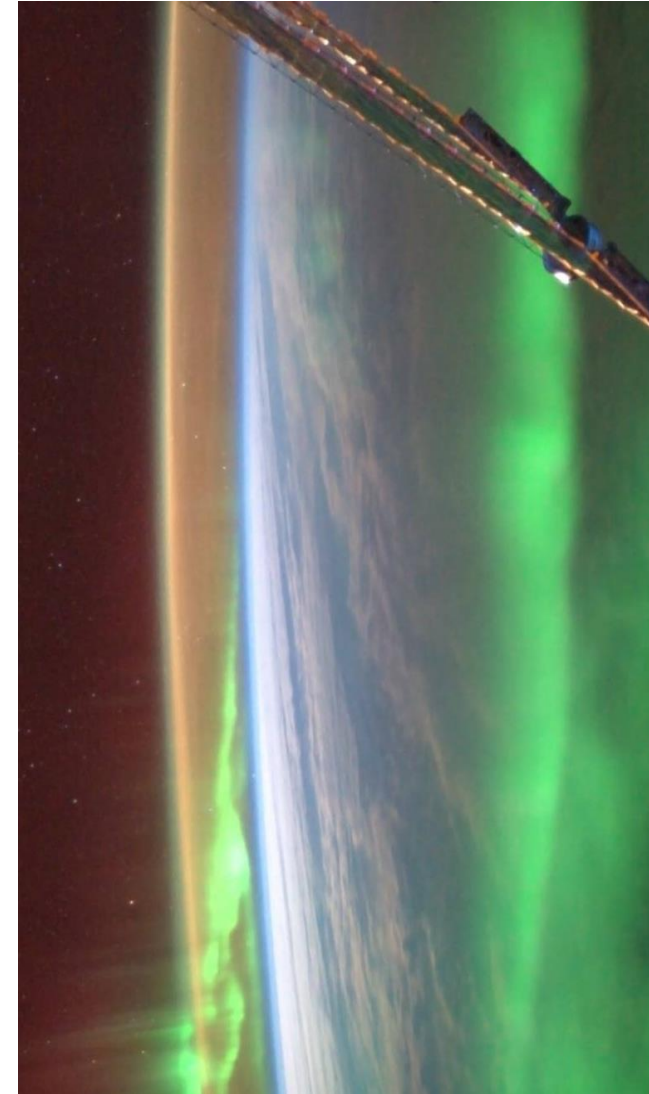
- Zou een hogere lichaamstemperatuur het mogelijk maken om (onbeschermd!) een grotere hoogte te overleven, of juist niet?
  - Een hogere lichaamstemperatuur betekent dat het kookpunt van bloed niet zover hoeft te dalen. Aangezien het kookpunt daalt met de luchtdruk betekent dit dat je niet zo hoog hoeft te gaan: je zal bij het opstijgen met een ballon sneller in de problemen geraken.
- Als een mens (onbeschermd!) met een ballon zou opstijgen naar grote hoogte, welke 3 dodelijke gevaren zouden er dan achtereenvolgens voorkomen? Stratosfeerballonnen bereiken doorgaans hoogtes van 30 à 45km.
  - Koude/Zuurstof/Luchtdruk
- Op welke hoogte draaiden de eerste astronauten (Vostok, Mercury en Gemini) om de Aarde? Waarom zo laag?
  - Ongeveer 150km, zodat de capsule zéker zou terugkeren naar de grond voordat de astronaut alle zuurstof had opgebruikt



# De thermosfeer

Boven de mesopause (85-100km) en reikend tot ongeveer 600km, ligt de **thermosfeer**.

Hier worden ionen gevormd door fotodissociatie van moleculen oiv. UV straling. Men noemt dit de ionosfeer. De ondergrens ervan wordt bepaald door de recombinatiesnelheid (te laag en de gevormde ionen recombineren zeer snel) en de bovengrens door de creatiesnelheid (te hoog en er worden quasi geen ionen gevormd).



De grenzen van de ionosfeer vallen echter niet samen met de tekenwissels van de temperatuurgradiënt (en dus met de grenzen van de thermosfeer): de ionosfeer gaat van 60 tot +/- 1000km, en omvat naast de thermosfeer dus ook het hoogste deel van de mesosfeer en het onderste deel van de exosfeer.

Onder de 60km worden er wel meer ionen gevormd dan daarboven, maar door de hogere luchtdichtheid is hun gemiddelde vrije weglengte beperkt, waardoor ze zeer snel recombineren, hetgeen de ionendichtheid laag houdt.

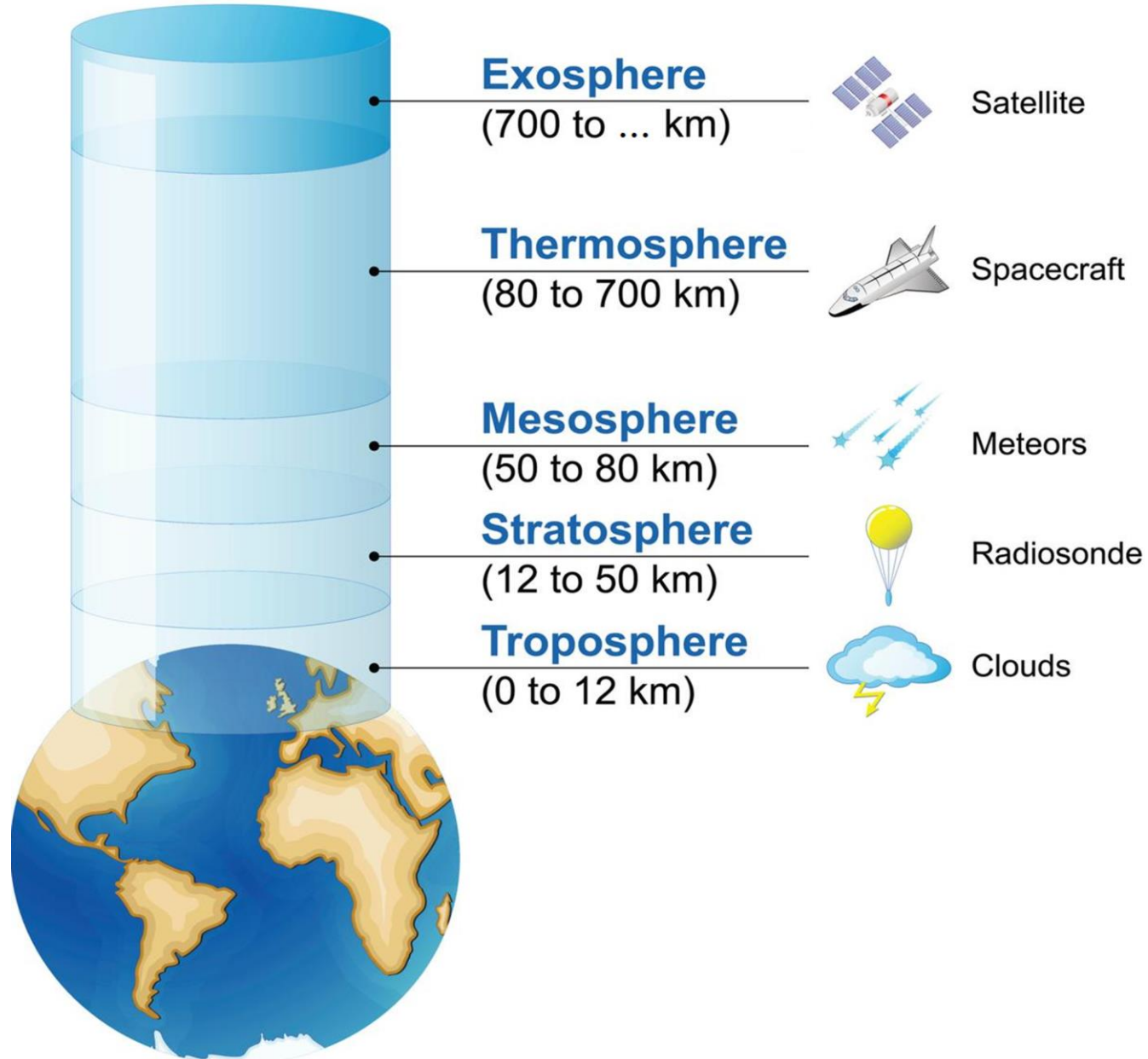
's Nachts, als er geen UV fotonen zijn, daalt de ionendichtheid daar tot quasi nul. Aan de bovengrens van 1000km zijn er dan weer bijna geen moleculen meer om ionen te vormen.



De aurorae of het poollicht wordt gevormd in de polaire thermosfeer.

Omdat er sondeerraketten nodig zijn voor de studie ervan (gezien de hoogte) en omdat er geen geschikte faciliteiten zijn in Antarctica wordt dit onderzoek bijna uitsluitend uitgevoerd vanuit Noorwegen (Andoya Rocket Center, of Ny Alesund op Spitsbergen) of Zweden (Esrange nabij Kiruna), waar diverse types sondeerraketten gebruikt worden door wetenschappers uit de hele wereld.





# De exosfeer

De **exosfeer** is de buitenste laag van de atmosfeer, die geleidelijk overgaat in de interplanetaire ruimte.

Per definitie is de bovengrens die plaats waar de stralingsdruk van de zon precies gelijk is aan de aantrekkingskracht van de Aarde. Dat komt overeen met ongeveer de helft van de afstand Aarde-Maan, dus  $\frac{1}{2} \times 384000\text{km}$ .

Aan de ondergrens van de exosfeer ligt de thermopause, waar de thermische gradiënt nul wordt. Maar in de hele exosfeer (en in de interplanetaire ruimte) is de temperatuur nagenoeg constant, al blijft die afhankelijk van zonne-activiteit en de afstand tot de zon.



# Aanbevolen lectuur

Discovering the Earth: Atmosphere. A Scientific History of Air, Weather, and Climate. Michael Allaby. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. ISBN-13: 978-0-8160-6098-6, ISBN-10: 0-8160-6098-3.

The Chemistry and Physics of Stratospheric Ozone. Andrew Dessler. Academic Press, 2000. International Geophysics Series, Vol. 74. ISBN 0-12-212051-5

Structure of the Stratosphere and Mesosphere. Willis L. Webb. Academic Press, 1966. International Geophysics Series, Vol. 9.

Website of the University Corporation for Atmospheric Research:  
<https://scied.ucar.edu/atmosphere-layers>

# Aanbevolen video-materiaal

- <https://www.youtube.com/watch?v=kzNuDkl8xB8>