


Les 5

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 5: Stralingseffecten

In deze les gaan we de effecten van de atmosfeer behandelen op straling die de Aarde bereikt van daarbuiten: zon- en ander sterlicht, maar ook de andere delen van het elektromagnetisch (em-) spectrum: radiogolven, IR, UV, X en gammastralen.

Daarnaast zal er ook aandacht zijn voor straling die ontstaat in de atmosfeer (en wat daarvan de oorzaak is).

A. Absorptie en verstrooiing in de atmosfeer.

De atmosfeer is niet 'doorschijnend' voor em-straling van alle golflengtes. Zelfs binnen het zichtbare deel van het spectrum ($400nm < \lambda < 800nm$) wordt een aanzienlijk deel van de straling geabsorbeerd of verstrooid.

Hoe dunner de luchtlaag waar de straling doorheen moet, hoe minder absorptie en verstrooiing. Het is daarom dat de hemel donkerder is op grote hoogte, en zwart gezien vanuit de ruimte.

We zullen hier als 'aardoppervlak' het zeeniveau behandelen (= 'worst case'), en kijken wat er onderweg aan zonnestraling 'verloren' gaat.

A.1. Rayleigh-verstrooiing

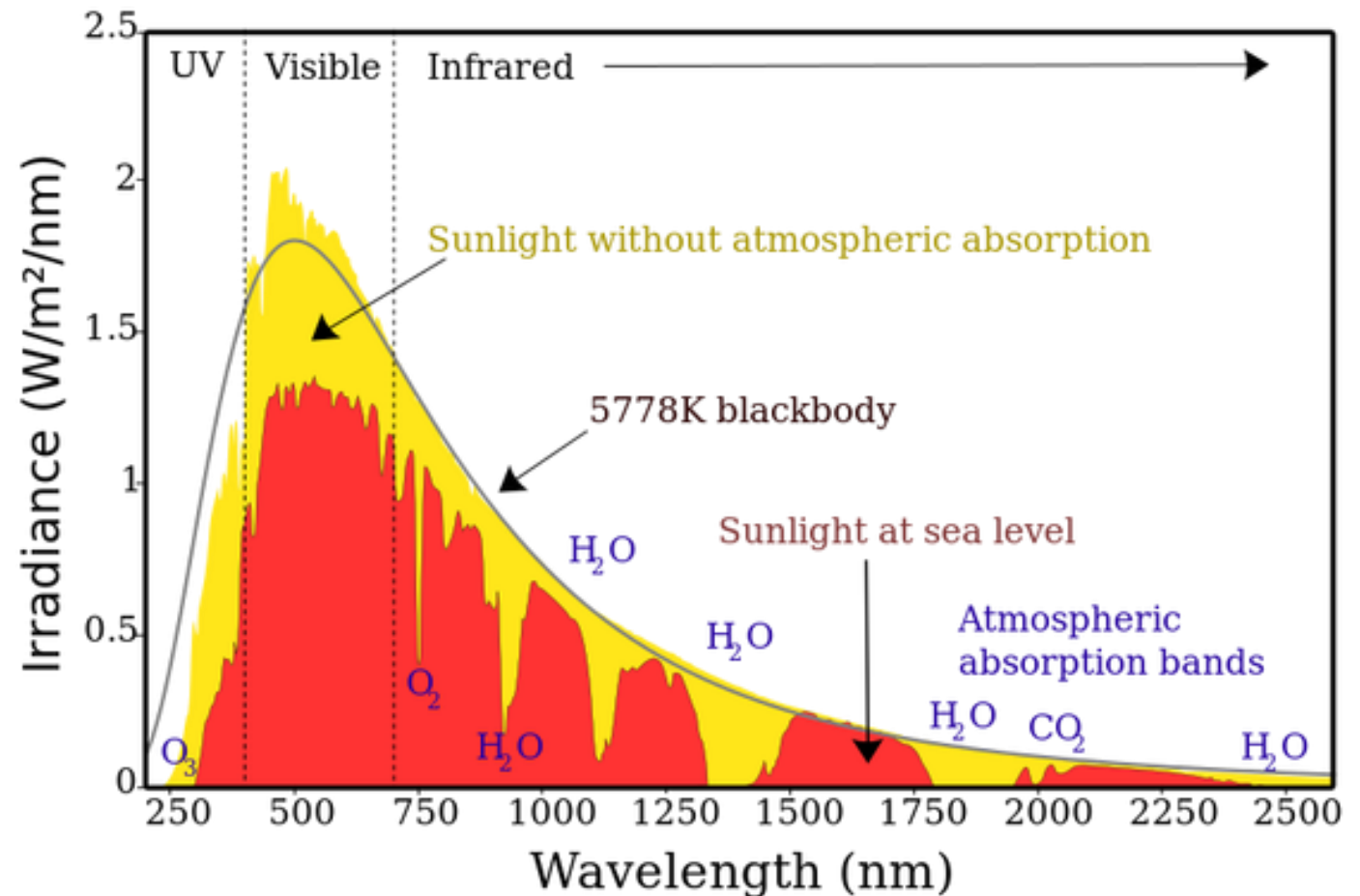
Rayleigh-verstrooiing of -scattering is het gevolg van elastische 'botsingen' tussen fotonen en moleculen (én partikeltjes die kleiner zijn dan de golflengte van het licht). Voor zichtbaar licht (frequenties kleiner dan de resonanties van de moleculen) is de verstrooiing omgekeerd evenredig met λ^4 . Dwz. dat blauw licht ($\lambda < 430nm$) veel meer verstrooid zal worden dan rood licht ($\lambda > 650nm$): de hemel kleurt blauw.



In het zichtbare deel van het spectrum (400-800nm) bedraagt het niveau van het zonlicht dat zeeniveau bereikt ongeveer 60% van het totaal: het maximum ligt bij 1,25 W/m²/nm op zeeniveau en in de ruimte op +/-2W/m²/nm).

- : Black-body straling
- geel**: emissie van de zon,
- rood**: ontvangen op zeeniveau

* Spectrum of Solar Radiation (Earth)



Dingen om over na te denken

- De atmosfeer van de Aarde heeft op een hoogte van 30km ongeveer dezelfde druk als de atmosfeer van Mars aan het oppervlak. Maar de hemel is donker 30km boven het aardoppervlak, en helder aan het oppervlak van Mars. Hoe verklaar je het verschil?
- Op Aarde zijn we het gewoon dat de hemel bij helder weer blauw is. Op Mars is dat lichtroze. Hoe verklaar je het verschil?

Dingen om over na te denken

- De atmosfeer van de Aarde heeft op een hoogte van 30km ongeveer dezelfde druk als de atmosfeer van Mars aan het oppervlak. Maar de hemel is donker 30km boven het aardoppervlak, en helder aan het oppervlak van Mars. Hoe verklaar je het verschil?
 - De hoeveelheid verstrooiing hangt idd. af van de hoeveelheid materiaal en die is voor beide planeten (ruwweg) vergelijkbaar. Maar in de atmosfeer van Mars zit veel stof in suspensie, en dat veroorzaakt een pak extra verstrooiing.
- Op Aarde zijn we het gewoon dat de hemel bij helder weer blauw is. Op Mars is dat lichtroze. Hoe verklaar je het verschil?
 - De stofdeeltjes in de Marsatmosfeer die verantwoordelijk zijn voor het grootste deel van de lichtverstrooiing zijn veel groter dan de moleculen die verantwoordelijk zijn voor de Rayleigh-verstrooiing op Aarde. Grotere deeltjes → grotere golflengtes: het is eerder in het rode deel van het spectrum dat de verstrooiing op Mars optreedt.

A.2. Atmosferische (on)doorlaatbaarheid

Zoals 2 slides terug (*) te zien is, kan het spectrum van de straling die de zon uitzendt in eerste benadering beschreven worden als 'black body' of zwart lichaam emissie. Een zwart lichaam is een model: het gaat uit van een (geïdealiseerd) object dat alle straling absorbeert en uitzendt, ongeacht de chemische samenstelling van dat object (enkel de temperatuur speelt een rol).

Dat is natuurlijk een vereenvoudigde voorstelling van de realiteit, maar het is in vele gevallen een goede eerste orde benadering voor de zon, de sterren en andere bronnen.

De flux die een object uitzendt (totale energie over het gehele spectrum, per seconde en per m^2 uitzendend oppervlak) is dan gegeven door de **Wet van Stefan-Boltzmann** die voor zwarte lichamen stelt dat:

$$\Phi = \sigma \cdot T^4$$

Waarbij $\sigma = \text{cte van Stefan} - \text{Boltzmann} = 5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$,

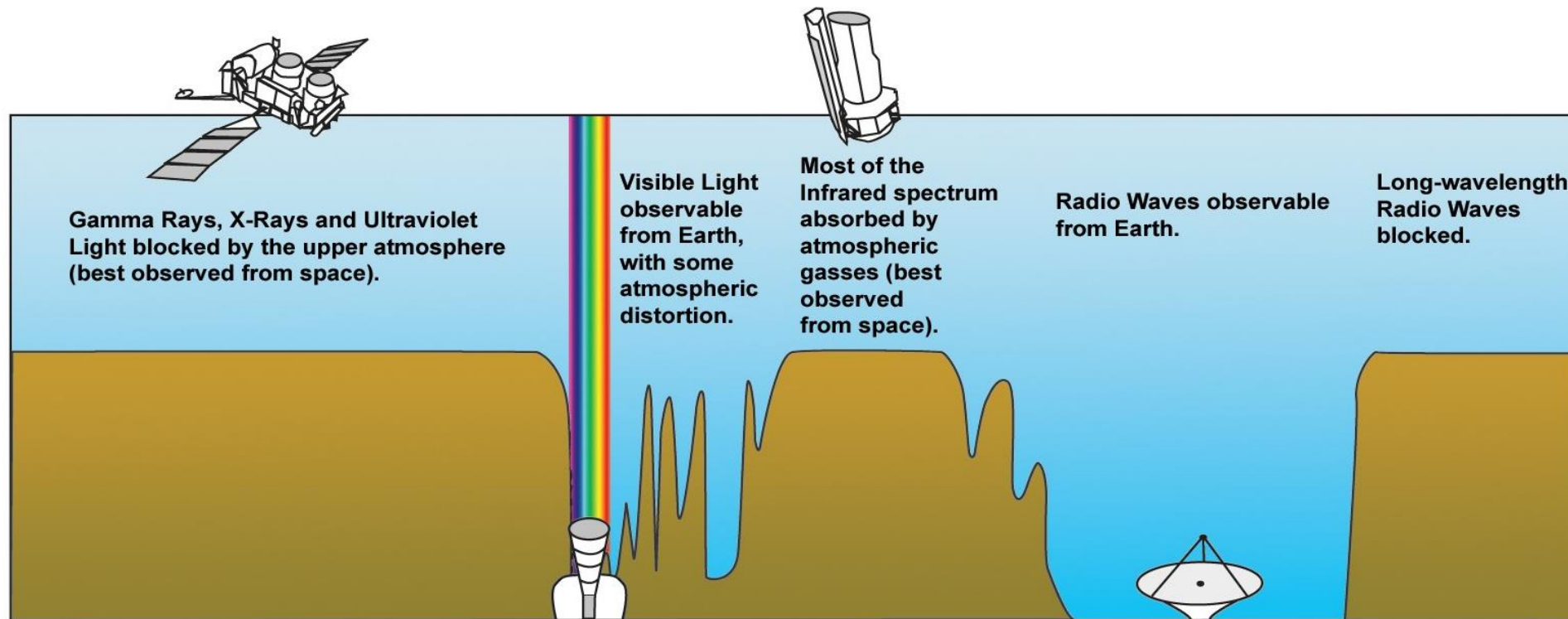
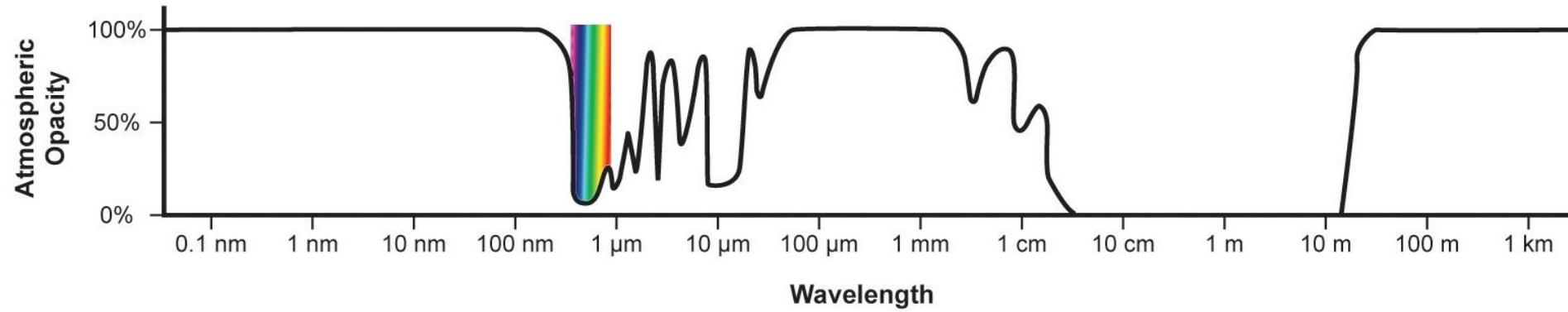
$T = \text{temperatuur (K)}$ en $\Phi = \text{flux (W/m}^2\text{)}$.

De positie van de piek in het spectrum wordt gegeven door de **Verplaatsingswet van Wien**:

$$\lambda_{peak} = b/T \quad \text{waarin} \quad b = 2,898 \cdot 10^{-3} K \cdot m$$

De figuur van 5 slides terug (*) toont naast het (theoretische) spectrum van een zwart lichaam (op $T = 5778K$) ook het reële emissiespectrum van de zon (geel vlak), en het deel daarvan dat zeeniveau (rood vlak) bereikt. Vooral in het infrarode deel van het spectrum zijn er duidelijk heel wat golflengtes die geabsorbeerd worden door water (H_2O).

Men kan nu voor de atmosfeer de 'ondoorlaatbaarheid' weergeven ifv. de golflengte. Het resultaat (op volgende slide) geeft dan weer welk soort straling zichtbaar is vanop de grond, en voor welk type straling vliegende platforms (ballonnen, sondeerraketten, satellieten) vereist zijn.



Het is duidelijk dat zichtbaar licht en radiogolven 'vensters' op de kosmos zijn voor instrumenten op de grond. Uit de slide met het zonnenspectrum (*) weten we dat er in het nabije IR ($800 - 1400\text{nm}$) veel absorptie is door water (H_2O).

Nu komt waterdamp slechts voor in de lagere troposfeer en in het hooggebergte zal van die absorptie dus weinig te merken zijn. Zie ook uit de vorige slide: de absorptie gebeurt slechts in de onderste luchtlagen.

Dit is de reden waarom IR-sterrenkunde toch vanop Aarde kan worden bedreven, maar dan met telescopen die op bergtoppen zijn gebouwd. Dat is trouwens ook voor gewone telescopen beter (meer geschikte nachten en betere beeldkwaliteit).

IR-telescopen op Aarde: UK-Infrared Telescope op Mauna Kea, Hawai.





Voorbeeld: de Orionnevel

Boven: zichtbaar licht,

Onder: IR-beeld gemaakt met VISTA (Visible & Infrared Survey Telescope for Astronomy, Paranal Observatory, Chile). Het meeste zichtbare licht komt van de waterstof-wolken die het felle licht van jonge sterren weerkaatsen.

In IR zien we ook warme wolken net boven het midden, onzichtbaar in zichtbaar licht, alsook vele jonge sterren vlakbij het centrum.

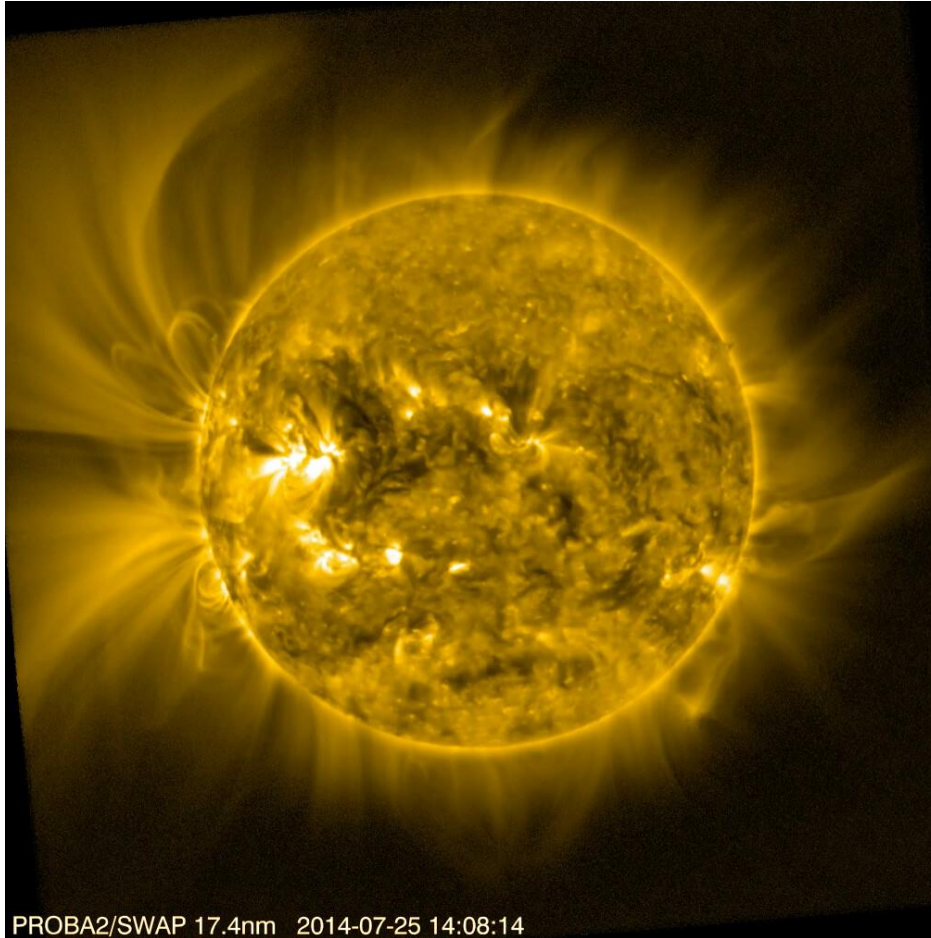
ESO/J. Emerson/VISTA & R. Gendler. Acknowledgment: Cambridge Astronomical Survey Unit.

Zowel bij kleinere golflengtes (UV, X- en γ -stralen) als bij de grotere (IR, radio) zendt de zon straling uit, zij het (meestal) met lage intensiteit.

Deze wordt door de atmosfeer grotendeels geabsorbeerd en wordt daarom bestudeerd met instrumenten die boven de atmosfeer worden gebracht met ballonnen of aan boord van satellieten.



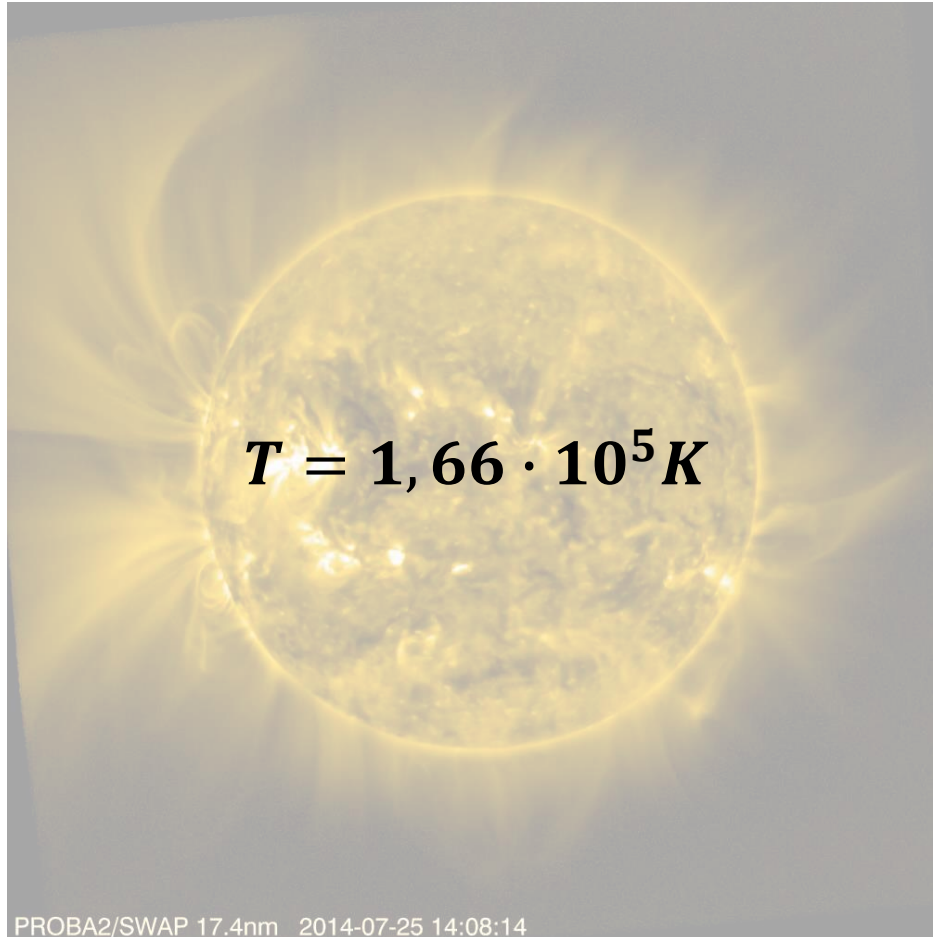
Ballonnen zijn relatief goedkoop maar hebben een beperkte 'levensduur' (uren tot maanden), satellieten kunnen jarenlang waarnemen maar zijn véél duurder.



Oefening 1:

De zon gefotografeerd door de in België gebouwde Proba-2 satelliet van ESA, in UV-licht met $\lambda = 17,4nm$.

Bereken welke temperatuur overeenkomt met $17,4nm$.



Oefening 1:

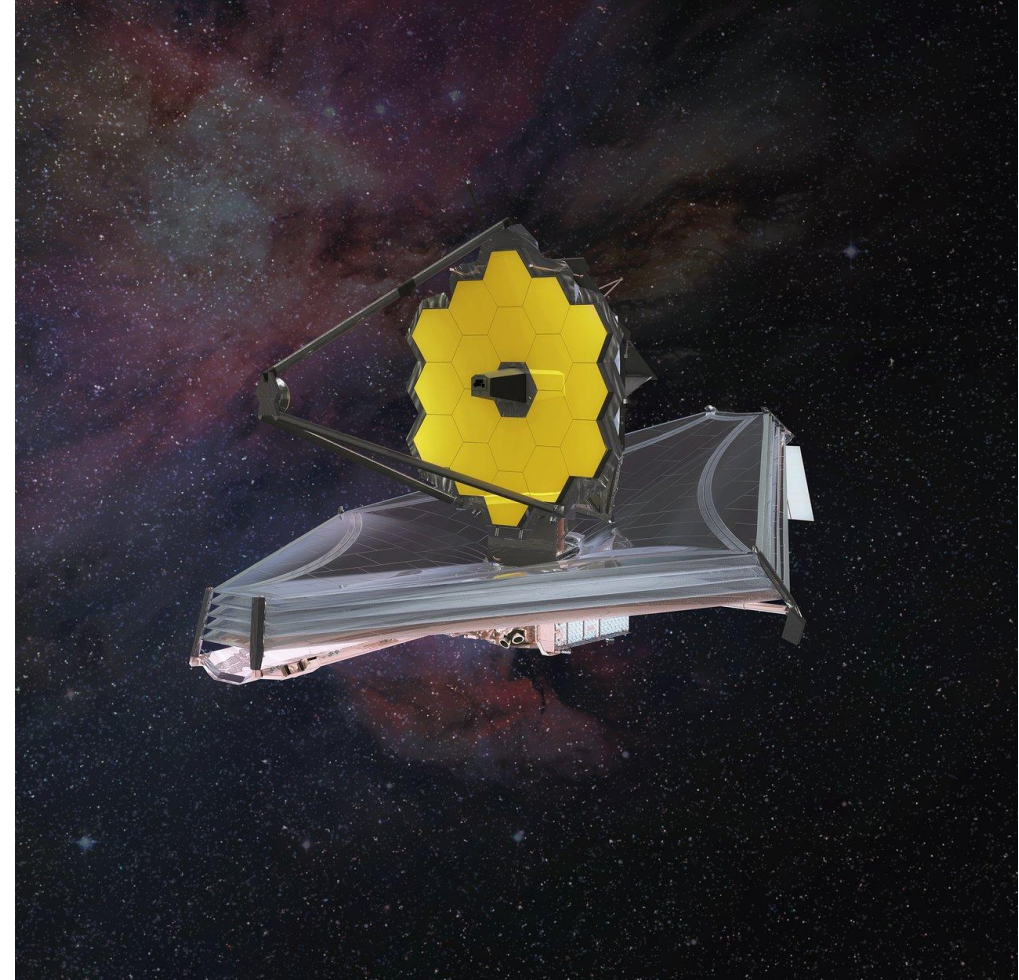
De zon gefotografeerd door de in België gebouwde Proba-2 satelliet van ESA, in UV-licht met $\lambda = 17,4nm$.

Bereken welke temperatuur overeenkomt met $17,4nm$.

Oefening 2:

De (toekomstige) James Webb Space Telescope zal werken in het IR en is gevoelig voor golflengtes van 600nm tot $28,3\mu\text{m}$.

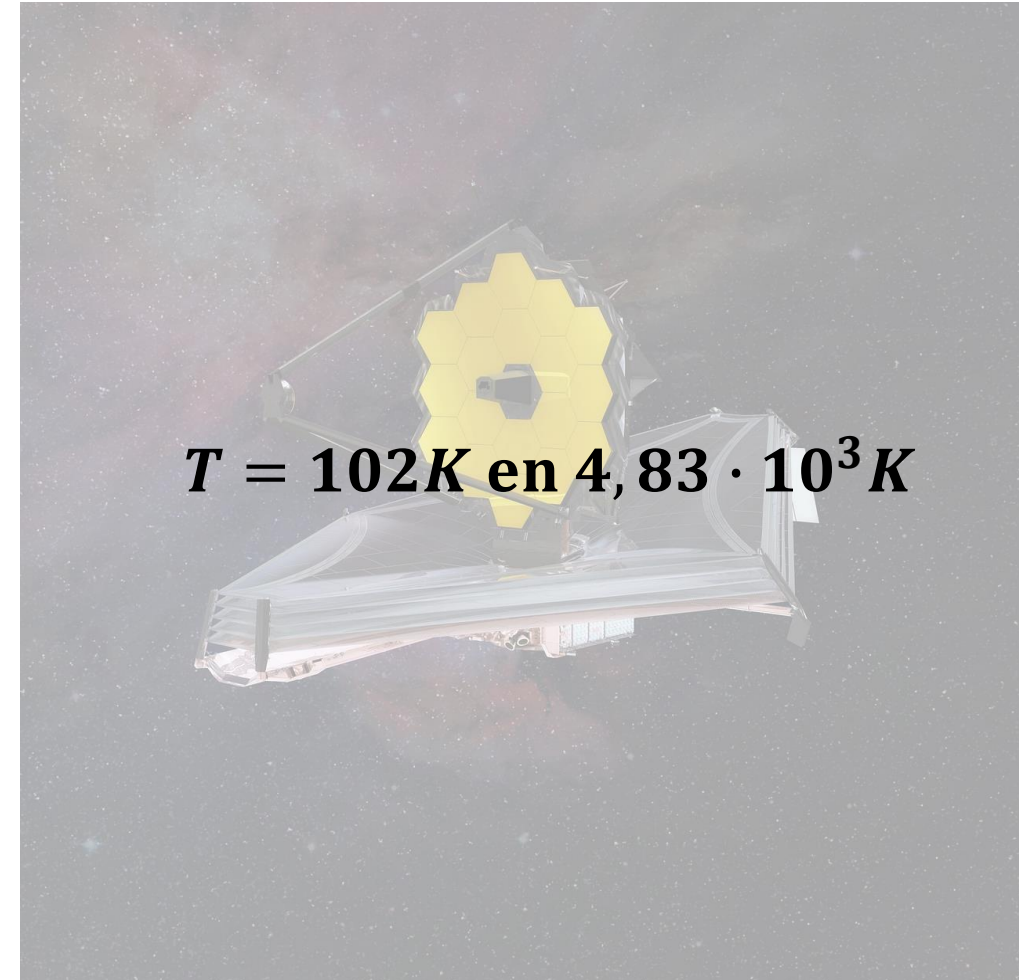
Bereken de temperatuur van de koudste en warmste objecten die deze ruimtetelescoop zal kunnen waarnemen.



Oefening 2:

De (toekomstige) James Webb Space Telescope zal werken in het IR en is gevoelig voor golflengtes van $600nm$ tot $28,3\mu m$.

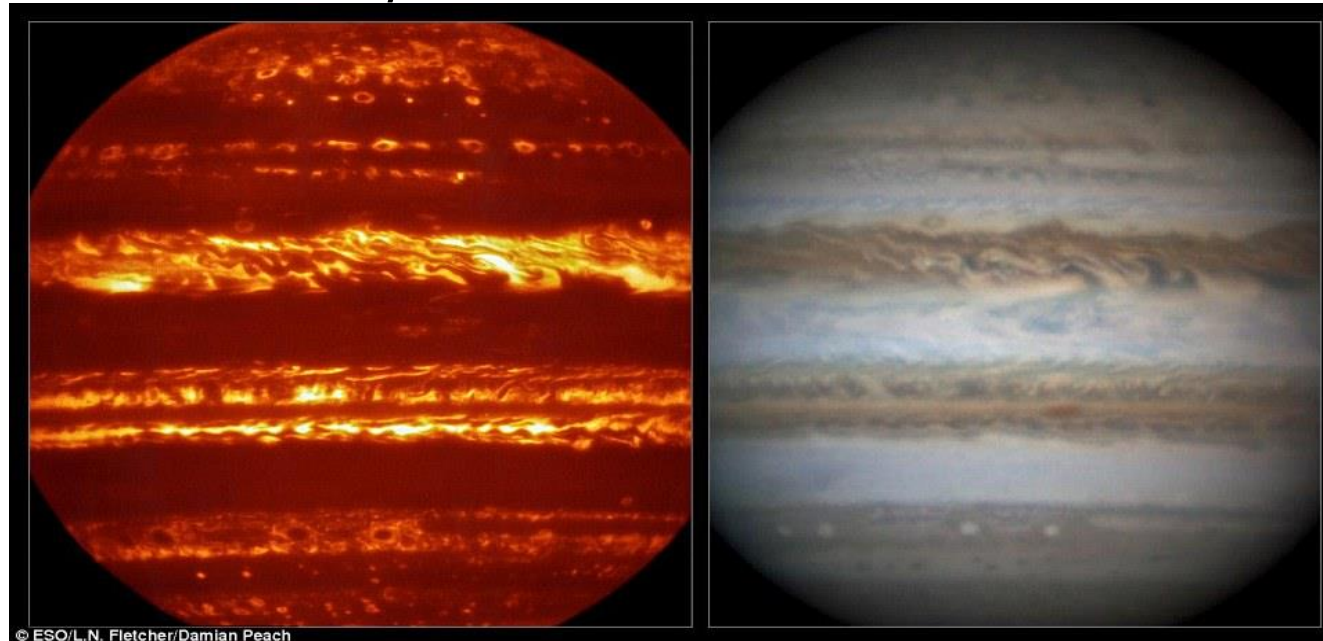
Bereken de temperatuur van de koudste en warmste objecten die deze ruimtetelescoop zal kunnen waarnemen.



Andere bronnen dan de zon.

Planeten zenden net als elk object eigen straling uit ifv. hun temperatuur, maar aangezien die veel lager ligt dan die van de zon, is het vooral weerkaatst zonlicht dat we van de planeten ontvangen.

Jupiter in IR en zichtbaar licht



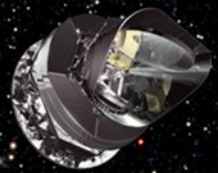
© ESO/L.N. Fletcher/Damian Peach



Gas dat in een zwart gat valt warmt op tot miljoenen Kelvin en zendt X-stralen uit.

Aangezien temperatuur de meest bepalende factor is voor de golflengte waarbij een object eigen straling uitzendt, is de keuze van een golflengtegebied meteen ook een keuze voor een temperatuurbereik: wie hete sterren/nevels wil gaan bestuderen heeft instrumenten nodig die werken met UV en X- of zelfs gammastralen. Wie koele nevels (of de atmosfeer van exoplaneten) wil bestuderen werkt met IR.

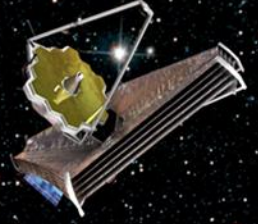
planck
Looking back
at the dawn of time



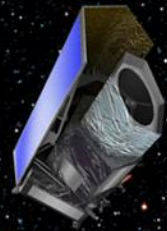
herschel
Unveiling the cool
and dusty Universe



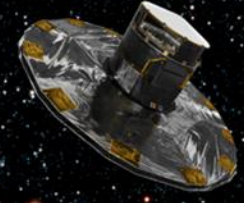
just
Observing the first light



euclid
Probing dark matter, dark energy
and the expanding Universe



gaia
Surveying a billion stars



hst
Expanding the frontiers
of the visible Universe



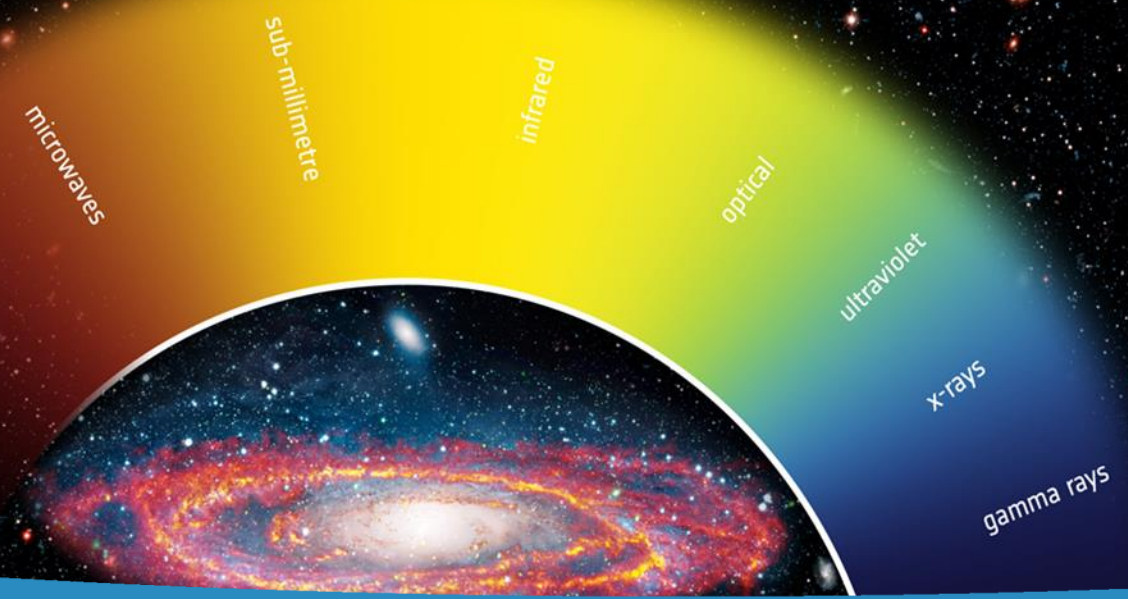
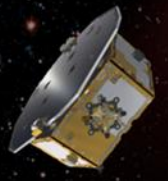
xmm-newton
Seeing deeply into the hot
and violent Universe



integral
Seeking out the extremes
of the Universe



**lisa
pathfinder**
Testing the technology
for gravitational
wave detection



ESA's fleet across the spectrum

Thanks to cutting edge technology, astronomy is unveiling a new world around us. With ESA's fleet of spacecraft, we can explore the full spectrum of light and probe the fundamental physics that underlies our entire Universe. From cool and dusty star formation revealed only at infrared wavelengths, to hot and violent high-energy phenomena, ESA missions are charting our cosmos and even looking back to the dawn of time to discover more about our place in space.

Dingen om zelf op te zoeken

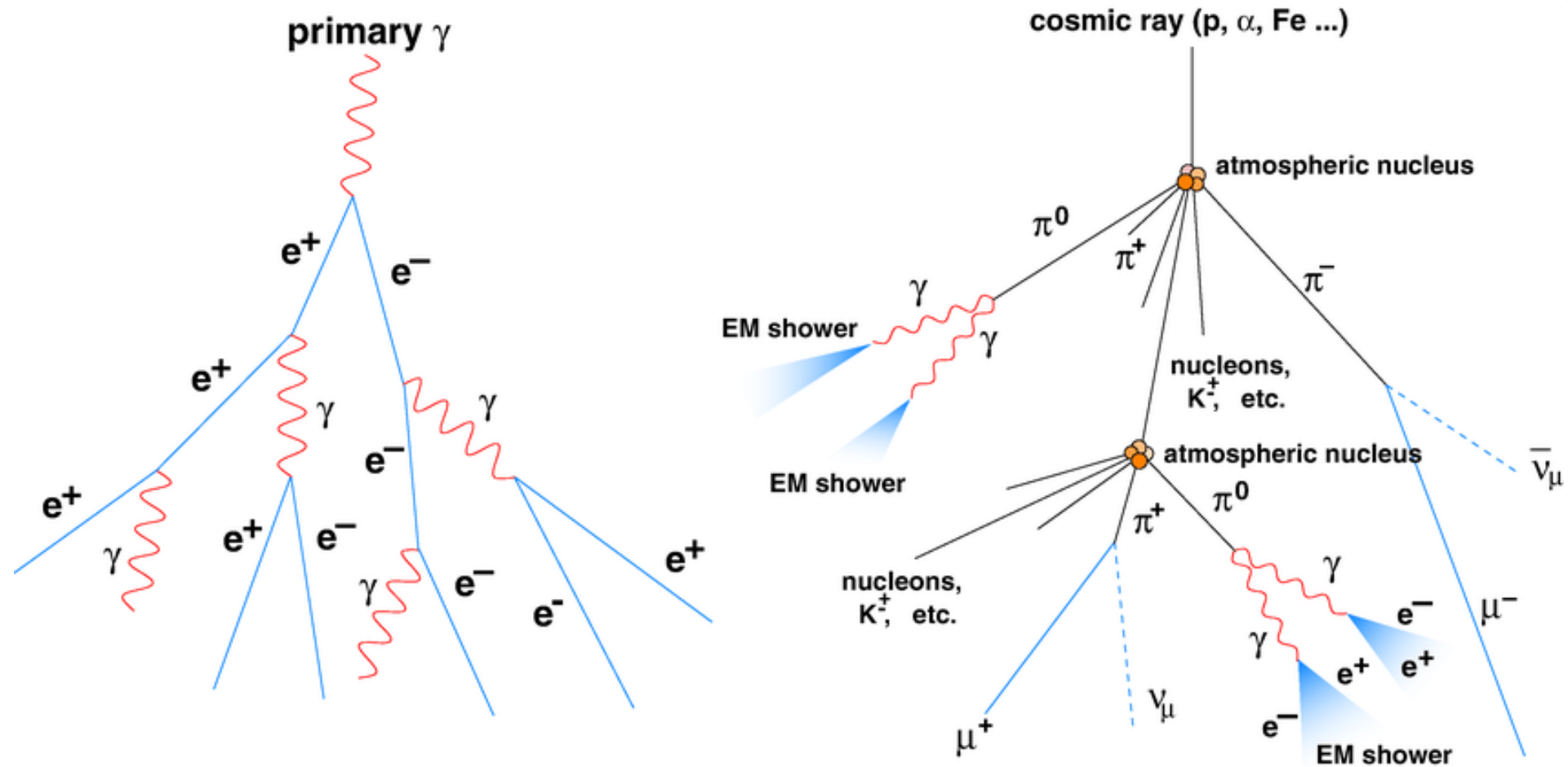
ESA heeft een aantal wetenschappelijke missies die zich richten op verschillende delen van het spectrum: Integral, XMM/Newton, Gaia, Euclid, Herschel, Planck.

Zoek per missie de objecten die geviseerd worden, en het deel van het spectrum dat bestudeerd wordt.

Besluit?

B. Kosmische straling en 'atmospheric showers'

De aardse atmosfeer houdt gammastraling uit de kosmos tegen, maar is zelf een bron van gammafotonen wanneer kosmische straling invalt. Deze kosmische straling veroorzaakt twee soorten 'lawines' van deeltjes, 'atmospheric showers' genoemd. De eerste soort ontstaat wanneer kosmische gammastraling de hoge atmosfeer raakt en energetische elektron-positron paren ontstaan. De andere soort ontstaat tgv. invallende materiedeeltjes (protonen van de zon, alfadeeltjes of zware atoomkernen).



Atmospheric showers created by cosmic gamma rays (left) and incoming particles (right).

Kosmische straling kan afkomstig zijn van de zon of uit het diepe universum.

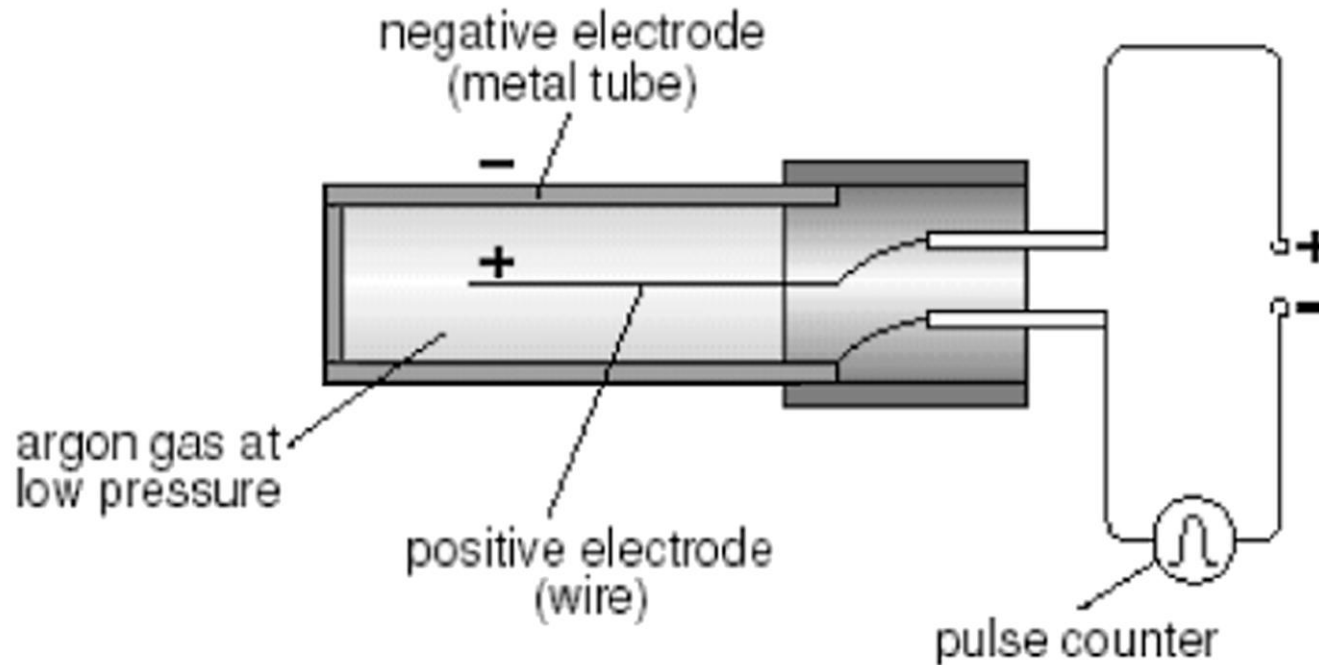
Uitbarstingen of erupties op de zon produceren elektronen, protonen, kleine hoeveelheden van zwaardere elementen en een heel spectrum aan elektromagnetische straling.

Kosmische straling uit het diepe universum bestaat uit gammastraling en zware atoomkernen zoals ijzer.

De gammastraling is bijzonder interessant omdat ze ontstaat bij de meest gewelddadige fenomenen in het heelal: supernovas, zwarte gaten die hele sterren 'verslinden', samensmeltende neutronensterren, ...

Een eenvoudig instrument om gammastraling te meten is de Geiger-Müller teller. Binnen een bepaald energiebereik telt dit toestel deeltjes die in het partieel vacuüm van de meetbuis een ontlading veroorzaken. Tussen de wand en een draad op de as van de buis staat er hoogspanning.

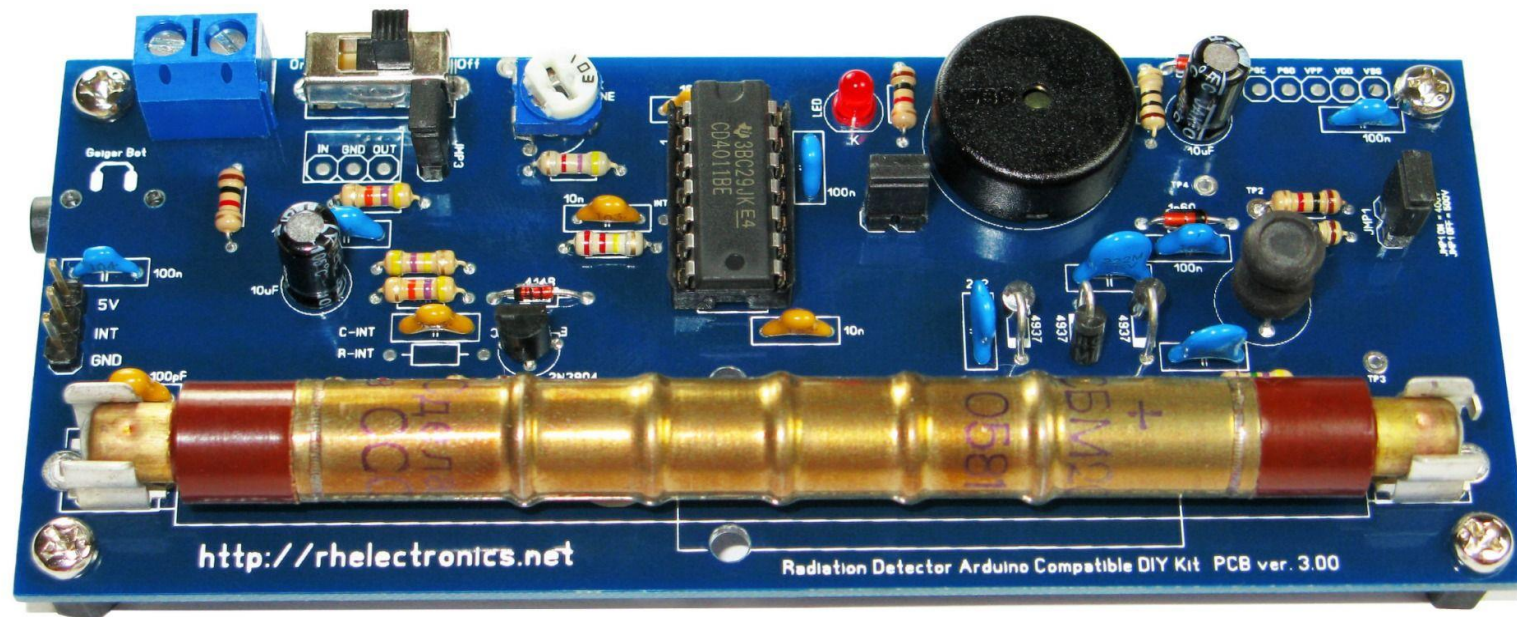
Wanneer een gamma-foton in de metalen wand van de buis een elektron vrijmaakt kan dat elektron in de buis terechtkomen waar het versneld wordt naar de centrale draad, daarbij een cascade van ionen producerend die een meetbare elektrische puls genereert.

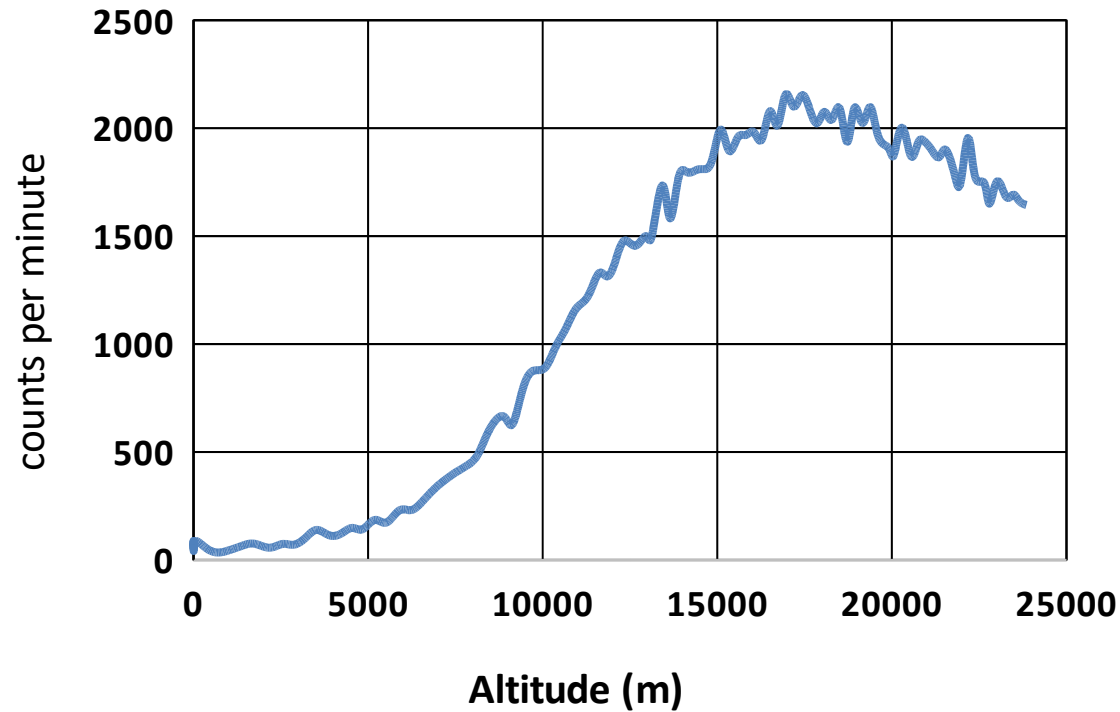


De Geiger-Müller teller heeft een aantal beperkingen:

- * de lengte van de puls bepaalt het maximum aantal deeltjes dat per seconde kan gedetecteerd worden.
- * niet elk gamma-foton dat het instrument raakt zal effectief gedetecteerd worden.
- * de energie van de gamma-fotonen wordt niet gemeten.

Anderzijds zijn er nu relatief goedkope Geiger-Müller teller modules op de markt, die compatibel zijn met de populaire Arduino-microcontrollers, waardoor ook leerlingen zelf gammastraling kunnen gaan meten.





Uit metingen blijkt dat vanaf de grond het niveau van de gammastraling stijgt tot een hoogte van ongeveer 18 à 20km. Men noemt dit het Regener-Pfotzer, of kortweg Pfotzer maximum. Daarboven is er weer een lichte daling.

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)*
- https://proba2.sidc.be/sites/default/files/PROBA2%40school_20101001.pdf
- *Cosmic Rays at Earth, Researcher's Reference Manual and Data Book. Peter K.F. Grieder. Elsevier. 2001 ISBN-978-0-444-50710-5*