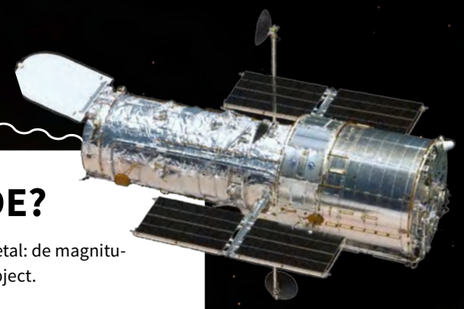
TEKST • GERT-JAN VAN HEUGTEN

# HOE VER STAAT DIE STER?

## AFSTANDSBEPALING IN HET HEELAL EN DE BEPERKINGEN ERVAN

**Het heelal is duizelingwekkend groot. Afstanden worden niet meer in meters of kilometers, maar in lichtjaren gemeten. Dat is de afstand die het licht in één jaar aflegt: 9,5 biljoen kilometer! Daarentegen is één lichtjaar op de schaal van het universum helemaal niets… Maar hoe weten astronomen nu hoeveel lichtjaar een ster bij de aarde vandaan staat? Ze zijn er toch niet met een meetlat naartoe gegaan?**



Ruimtetelescoop Hubble

### WAT IS EEN MAGNITUDE?

De helderheid van dingen wordt uitgedrukt in een getal: de magnitude. Hoe lager die magnitude is, hoe helderder het object.

Een paar voorbeelden:
- De zon is het helderste object met een magnitude van -27.
- De maan komt op de tweede plaats. Een volle maan heeft een magnitude van -13.
- Venus is de volgende, met een magnitude van -5. De andere planeten zitten tussen -3 (Jupiter en Mars) en 8 (Neptunus).
- Sirius is de helderste ster: magnitude -1.
- Met een verrekijker kun je objecten tot magnitude 10 waarnemen.
- De Hubble-ruimtetelescoop is op het moment de sterkste telescoop en kan tot magnitude 32 waarnemen.

Alle metingen aan de afstanden van sterren worden vanaf de aarde gedaan. Maar niet al die metingen zijn even betrouwbaar. Hoe verder weg je wilt kijken, hoe onnauwkeuriger de afstandsbepaling wordt. Hier volgen de zes belangrijkste methodes om afstanden in het heelal te bepalen, van dichtbij en nauwkeurig naar veraf en onnauwkeurig:

### 1. PARALLAX

De afstand tot nabijgelegen sterren wordt berekend met een methode die parallax wordt genoemd. Hierbij kijk je vanuit twee verschillende hoeken naar dezelfde achtergrond. Sterren die heel ver weg staan lijken niet verschoven, maar sterren die dichterbij staan wel.
Dat deze methode werkt kun je zelf uitproberen. Houd je hand maar eens uitgestrekt voor je, met één vinger opgestoken. Kijk dan afwisselend met je ene en met je andere oog naar je vinger, en je ziet dat die verspringt ten opzichte van de achtergrond. Als je de afstand tussen je ogen weet, kun je met een paar simpele wiskundige berekeningen bepalen hoe ver je vinger van je ogen af staat.
Bij sterren werkt dat net zo. Men doet dit door twee foto's van de nachtelijke hemel te maken, met een half jaar ertussen. De aarde staat dan aan de andere kant van de zon. Je kunt vervolgens die foto's vergelijken en berekenen hoe ver deze sterren van je af staan.

Deze parallaxmethode werkt tot een afstand van een paar honderd lichtjaar (misschien enkele duizenden, als er gebruik wordt gemaakt van een ruimtetelescoop zoals de Hubble).

### 2. CEPHEÏDEN

Voor sterren die verder weg staan moet je andere methodes gebruiken. Eén van die methodes heeft te maken met variabele sterren. Een variabele ster is een ster waarvan de helderheid periodiek afneemt en

> HOE VERDER VAN DE AARDE, HOE ONNAUWKEURIGER DE MEETMETHODE

dan weer toeneemt. Deze cyclus herhaalt zich steeds. Men meet de lichtintensiteit van zo'n ster.
Bij cepheïden – genoemd naar de eerst ontdekte variabele ster, in het sterrenbeeld *Cepheus* – heeft men ontdekt dat de periode (de tijd tussen de twee helderste momenten) een verband heeft met de lichtintensiteit. Henrietta Levitt publiceerde dit in 1912. Ze deed metingen aan de hand van sterren in de Grote en Kleine Magelhaense Wolk. Dat zijn sterrenstelsels die vlak bij onze Melkweg staan. Omdat de afstand van al die variabele sterren tot de aarde ongeveer hetzelfde is kon ze haar ontdekking doen. Sindsdien gaan astronomen ervan uit dat deze correlatie tussen de periode en de absolute lichtintensiteit voor alle variabele sterren geldt.

De maximale afstand waarop variabele sterren waarneembaar zijn, is zo'n 20 miljoen lichtjaar. Er zijn trouwens twee typen cepheïden: type I en type II. Dat maakt het een stukje ingewikkelder, want de relatie tussen de lichtintensiteit en de periode is anders. Hierdoor moesten eerdere afstandsmetingen worden herzien. De vraag rijst of er dan misschien niet ook nog type III of meer cepheïden zijn, waar men nu nog geen weet van heeft…

### 3. SUPERREUZEN

Je hebt sterren en je hebt reuzensterren. Op YouTube kun je mooie filmpjes bekijken van de aarde en de zon vergeleken met die reuzen. Om een indruk te krijgen, kun je surfen naar www.creationminute.com.
Astronomen gaan ervan uit dat reuzen en superreuzen altijd dezelfde absolute helderheid hebben. Voor rode superreuzen is dat magnitude -8 en voor blauwe -9 (zie kader hierboven). Die kunnen dan, net als cepheïden, als standaardkaars dienen (zie kader pagina 44). Het is helaas niet te controleren of dit ook altijd het geval is,

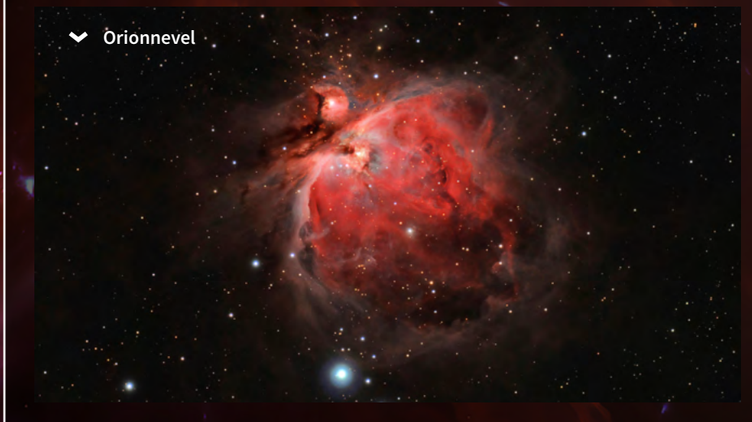
omdat men nog nooit dicht bij zo'n ster is geweest. Deze methode werkt tot 50 miljoen lichtjaar voor rode en 80 miljoen lichtjaar voor blauwe superreuzen.

### 4. BOLHOPEN EN EMISSIENEVELS

Met dezelfde methode als voor de superreuzen kun je ook kijken naar groepjes sterren, zogenaamde sterrenclusters of bolhopen. Men neemt aan dat de helderste bolhopen een absolute magnitude van ongeveer -10 hebben. Dat werkt tot een afstand tot 130 miljoen lichtjaar.
Als je kijkt naar emissienevels (je weet wel, die mooie plaatjes van bijvoorbeeld de Adelaars- en Orionnevel: zie hieronder) kun je tot 300 miljoen lichtjaar gaan. Bij emissienevels gaat men er van uit dat ze een magnitude van -12 hebben.
Net als bij de superreuzen kun je niet controleren of deze aannames kloppen.



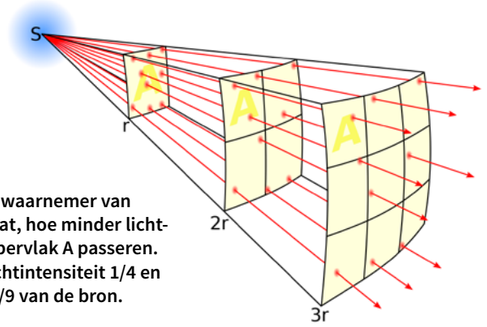
Adelaarsnevel



Orionnevel

## LICHTINTENSITEIT EN STANDAARDKAARSEN

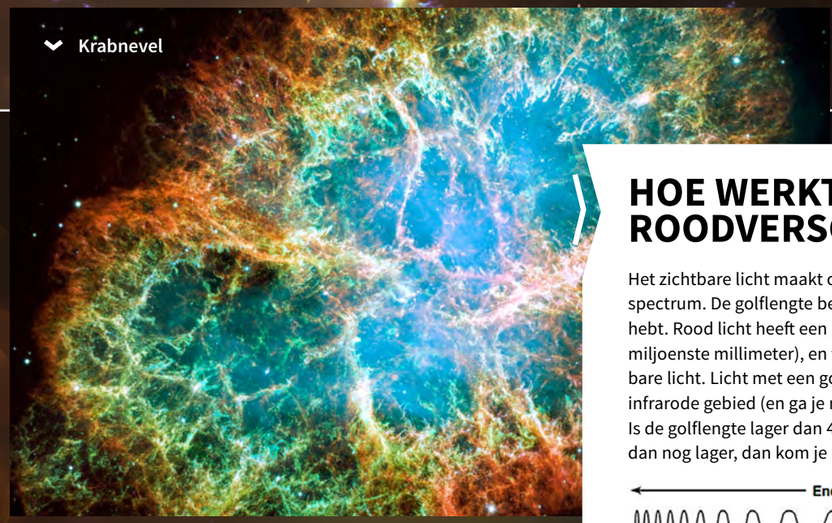
Als je vlak bij een lichtbron bent, is die veel feller dan wanneer je op een afstandje staat. Dat komt doordat er dicht bij de lichtbron meer lichtdeeltjes (fotonen) per vierkante meter passeren dan op een grotere afstand. Dit schaalt, om het even in wiskundige termen te zeggen, omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand (omgekeerde kwadraatwet). Anders gezegd: als je twee keer zo ver weg staat, is de lichtbron vier keer zo zwak. Sta je 3 keer zo ver weg, dan is de lichtintensiteit nog maar 1/9 van de werkelijke lichtintensiteit. Op deze manier kun je, als je de afstand weet, bepalen wat de absolute lichtintensiteit is. Of, als je de absolute en de schijnbare (of waargenomen) lichtintensiteit weet, de afstand berekenen. De absolute lichtintensiteit is hoe helder een object echt is, en de schijnbare lichtintensiteit is hoe helder het vanaf de aarde lijkt. Als je weet hoe fel het object is, en hoe fel deze vanaf de aarde lijkt, kun je met die omgekeerde kwadraatwet uitrekenen hoe ver het object van je af staat.




**Hoe verder je als waarnemer van lichtbron S af staat, hoe minder lichtstralen er per oppervlak A passeren. Dus op 2r is de lichtintensiteit 1/4 en op 3r nog maar 1/9 van de bron.**

### 5. SUPERNOVA'S

Een andere methode die astronomen gebruiken om afstanden te bepalen, richt zich op supernova's. Dat zijn exploderende sterren. Die explosies zijn ontzettend heftig en geven een enorm sterke flits, met een maximale magnitude van -19. In 1054 n.Chr. was er zo'n supernova in ons melkwegstelsel, die zelfs overdag zichtbaar was. Het resultaat van die explosie kun je nog steeds zien. Dat is de Krabnevel (zie rechtsboven).
Er zijn verschillende typen supernova's. Voor supernova's van het type Ia geldt dat ze allemaal dezelfde lichtintensiteitscurve volgen. De lichtintensiteit neemt eerst toe tot het maximum en neemt daarna langzaam af. Als astronomen dus weten wat de lichtintensiteit van een supernova is, en waar deze zich op dit moment op de curve bevindt, dan kunnen ze uitrekenen wat de schijnbare maximale lichtintensiteit was. Supernova's zijn dus ook standaardkaarsen. Deze methode werkt tot een afstand van ongeveer 8 miljard lichtjaar. Ook hier zit weer een stukje onzekerheid in. Als er bijvoorbeeld stof tussen de supernova en de aarde zit, lijkt deze minder helder, en krijg je dus een valse meting.



Krabnevel

### 6. ROODVERSCHUIVING

De laatste methode om afstanden te bepalen is roodverschuiving (zie kader rechts). De gangbare uitleg is dat dit veroorzaakt wordt door het dopplereffect: sterrenstelsels zouden zich van ons af bewegen, waardoor de lichtgolven worden uitgerekt. Dat zou komen doordat de ruimte zelf oprekt (inflatie).
Over het algemeen kun je stellen dat, volgens het oerknalmodel, objecten met een hoge roodverschuiving ver weg staan, en met een lage roodverschuiving dichtbij. Roodverschuiving is dus een maat voor de afstand. Maar hier zijn verschillende problemen mee:

- Edwin Hubble ontdekte dat er een samenhang is tussen roodverschuiving en afstand bij sterrenstelsels, maar die is er niet bij quasars (op sterren lijkende bronnen van radiostralen). Een quasar is een object dat heel helder schijnt.
- Quasars met hoge roodverschuiving zijn soms fysiek gebonden aan sterrenstelsels met lage roodverschuiving, bijvoorbeeld via stofwolken. Dat wil dus zeggen dat objecten met verschillende roodverschuiving op dezelfde afstand van de aarde staan.
- Er is zelfs een quasar met een hoge roodverschuiving die vóór een sterrenstelsel met een lage roodverschuiving (NGC 7319) staat.
- Het *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) heeft de roodverschuiving van duizenden sterrenstelsels in kaart gebracht. Hieruit blijkt dat de roodverschuiving niet gelijkmatig verdeeld is, maar dat er 'regio's' zijn.
- Er zijn ook andere factoren bekend die roodverschuiving kunnen veroorzaken, zoals zwaartekracht.
- Verder zijn er nog wetenschappers die menen dat sterrenstelsels en quasars ook een 'intrinsieke roodverschuiving' hebben: het licht is naar het rode deel geschoven zonder dat het met de afstand te maken heeft.

> "OUD STERRENLICHT IN EEN JONG HEELAL: HOE VERKLAAR JE DAT?

Roodverschuiving kan gebruikt worden om de afstanden tot verre sterrenstelsels te berekenen, maar er liggen veel aannames aan ten grondslag. Dit is verreweg de minst nauwkeurige methode.

### JONG HEELAL

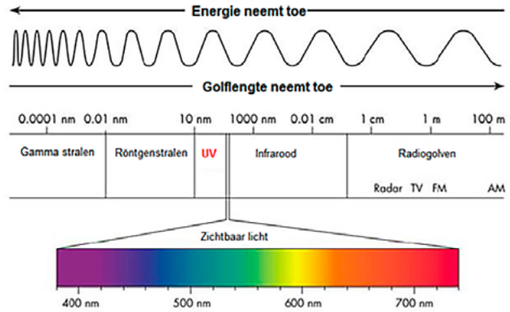
Alle genoemde methodes overlappen deels. Daarom zijn veel astronomen van mening dat ze redelijk nauwkeurig zijn. Maar je ziet: hoe verder een object van de aarde verwijderd is, hoe meer onbewezen aannames er nodig zijn om de afstand te berekenen.

Ondanks dat deze methodes onnauwkeuriger worden naarmate je verder van de aarde af komt, kun je toch niet alles binnen een bol van 6000 lichtjaar om de aarde heen zetten. 6000 lichtjaar, want als de aarde 6000 jaar geleden is geschapen, kan het licht maximaal 6000 lichtjaar hebben afgelegd (ietsjes meer als je ook nog een inflatie in je model meeneemt). Er zijn te veel sterren en sterrenstelsels om het allemaal op die afstand te zetten.

Voor het Bijbelse model geeft dat niet. Er zijn namelijk verschillende mogelijkheden om te verklaren waarom je 'oud' sterrenlicht kunt zien in een 'jong' universum. Het voert te ver om dat in dit artikel te bespreken, maar dat zal zeker in een volgend nummer gebeuren. Wordt vervolgd.

## HOE WERKT ROODVERSCHUIVING?

Het zichtbare licht maakt onderdeel uit van het elektromagnetisch spectrum. De golflengte bepaalt met wat voor straling je te maken hebt. Rood licht heeft een golflengte van 700 nm (nanometer, één miljoenste millimeter), en violet licht van 400 nm. Dat is het zichtbare licht. Licht met een golflengte van meer dan 700 nm zit in het infrarode gebied (en ga je nog hoger, dan kom je uit bij radiogolven). Is de golflengte lager dan 400 nm, dan is het ultraviolet licht. Ga je dan nog lager, dan kom je uit bij röntgen- en gammastralen.




In wit licht zijn alle kleuren vertegenwoordigd. Maar bepaalde chemische elementen absorberen specifieke golflengtes van licht. In het spectrum zie je dan een serie zwarte banden, Fraunhoferlijnen genoemd. Die lijnen kun je gebruiken om te bepalen door welke chemische elementen het licht 'gefilterd' is.
De Fraunhoferlijnen zitten voor een element altijd bij dezelfde golflengte. Bij licht van verre sterrenstelsels zie je die lijnen ook, maar meestal zijn ze dan verschoven naar een hogere golflengte, richting het rode gebied. Dat heet dan roodverschuiving.