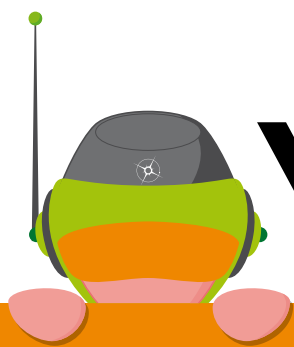


NOVALAB



GEEF STERRENKUNDE DE RUIMTE!

ZOEKTOCHT EXOPLANETEN

Deze NOVALab-oefening gaat over een van de manieren om planeten buiten ons zonnestelsel op te sporen.

De oefening is geschikt voor de bovenbouw HAVO/VWO.

WETENKAART

Na deze NOVALab oefening weet je meer over:

- Wat zijn exoplaneten en hoe worden ze ontdekt?
- Wat is een planeetovergang (transit) en hoe lang duurt deze?
- Wat gebeurt er met de helderheid van een ster als er een planeet voorlangs beweegt?
- Hoe bereken je op basis van een planeetovergang de grootte van een planeet en zijn afstand tot de ster?

ZOEKTOCHT EXOPLANETEN

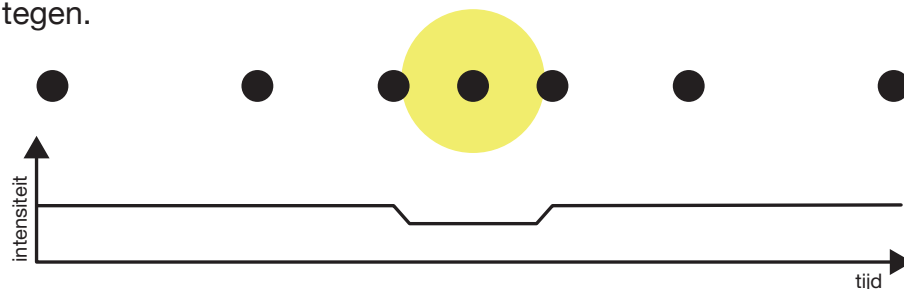
INTRODUCTIE

Ons zonnestelsel telt acht planeten: Mercurius, Venus, Aarde, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus. Pluto hoorde er vroeger ook bij, maar is in 2006 door de sterrenkundigen gedegradeerd tot dwergplaneet. De acht planeten draaien om onze eigen ster, de zon. Maar ook rond andere sterren in het heelal draaien planeten. Die noemen we exoplaneten. Exoplaneten zijn moeilijk te vinden doordat ze worden overstraald door hun moederster. De eerste planeet buiten ons eigen zonnestelsel werd pas in 1995 ontdekt. Met verbeterde methoden zijn er inmiddels vele honderden gevonden. Sterrenkundigen denken dat het merendeel van de sterren aan de hemel een of meerdere planeten om zich heen heeft draaien. Opvallend is dat de Nederlander Christiaan Huygens (1629-1695) al in de 17e eeuw het bestaan van exoplaneten voorspelde:

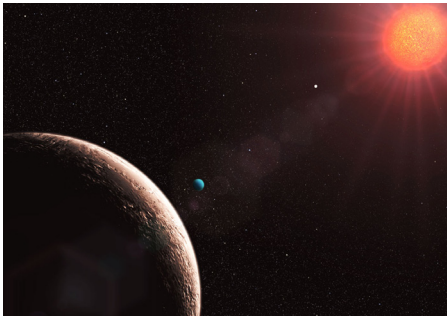
“Wat weerhoudt ons nu te geloven dat een yder van die sterren, of Zonnen, zoo wel als onze Zon, rondom haar Dwaalsterren heeft, die wederom met hare manen verzeld zijn?”

HOE VIND JE EXOPLANETEN?

De transitmethode is een van de manieren om exoplaneten te vinden. Deze methode kan worden toegepast als een planeet vanaf de aarde gezien precies voor zijn ster langs beweegt. Dit noemen we een planeetovergang of transit. Figuur 1 laat zien wat er gebeurt tijdens een planeetovergang. Als de planeet zich naast de ster bevindt zien we de hele ster. Op het moment dat de planeet voor de ster komt zien we iets minder van het steroppervlak. De planeet houdt een heel klein beetje sterlicht tegen.



Figuur 1: Een planeet beweegt voor een ster langs en veroorzaakt een dipje in de helderheid van het sterlicht



- a. Waarom heeft het zo lang geduurd voordat de eerste exoplaneet is ontdekt?
- b. Hoeveel exoplaneten zijn er op de dag dat je deze opdracht maakt al ontdekt?

ZELF OP ONDERZOEK UIT.

Om zelf onderzoek te doen aan overgangen van exoplaneten hebben we een paar formules nodig. We gaan deze formules stap voor stap afleiden. De basis blijft het onderzoeken van grafieken zoals bij figuur 1.

De hoeveelheid licht die we van een ster ontvangen noemen we flux. Deze flux schrijven we als het product van het oppervlak van de ster en de helderheid per oppervlakte, H_* :

De formule voor de flux ziet er dan als volgt uit:

$$F_* = \pi R_*^2 \cdot H_*$$

R_* is de straal van de ster in km.

H_* is de helderheid van de ster per vierkante km.

- Kun je in eigen woorden deze formule verklaren?

Als de planeet nu voor de ster komt, neemt hij een klein stukje van de flux weg. De afname, ΔF_* , wordt bepaald door de grootte van het planeetoppervlak.

De formule voor deze afname is:

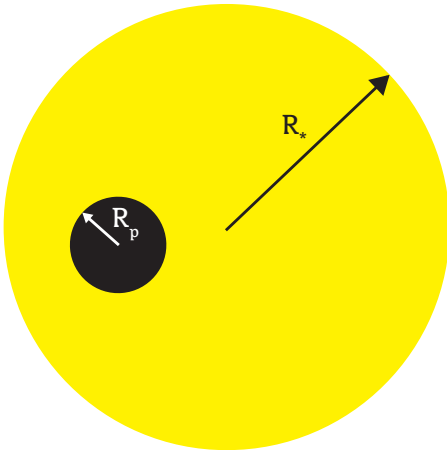
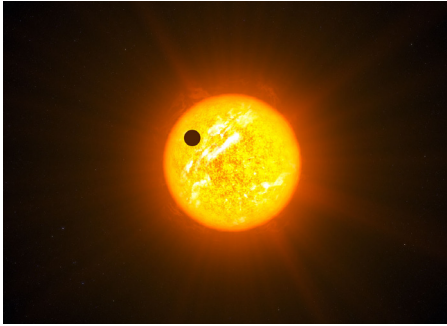
$$\Delta F_* = \pi R_{\text{planeet}}^2 \cdot H_*$$

Als we dit delen door de flux die we ontvangen als de planeet niet voor de ster staat, vinden we de fractie van het sterlicht dat door de planeet wordt geblokkeerd.

- Vereenvoudig zelf de formule $\frac{\Delta F_*}{F_*}$

Deze formule ziet er nu heel eenvoudig uit. Hoe groter de planeet, hoe meer verschil er zal zijn tussen de flux die we zien tijdens en na de transit. Het hangt dus alleen af van de verhouding van de kwadraten van de straal van planeet en ster. We zoeken sterren waarvan de lichtintensiteit schommelt en waarvan de grafiek van die schommelingen op een transitgrafiek lijkt. Zo worden exoplaneten gevonden.





figuur 2: De planeet voor de ster

- De straal van de zon is ongeveer 700.000 km en die van de aarde is 6378 km.

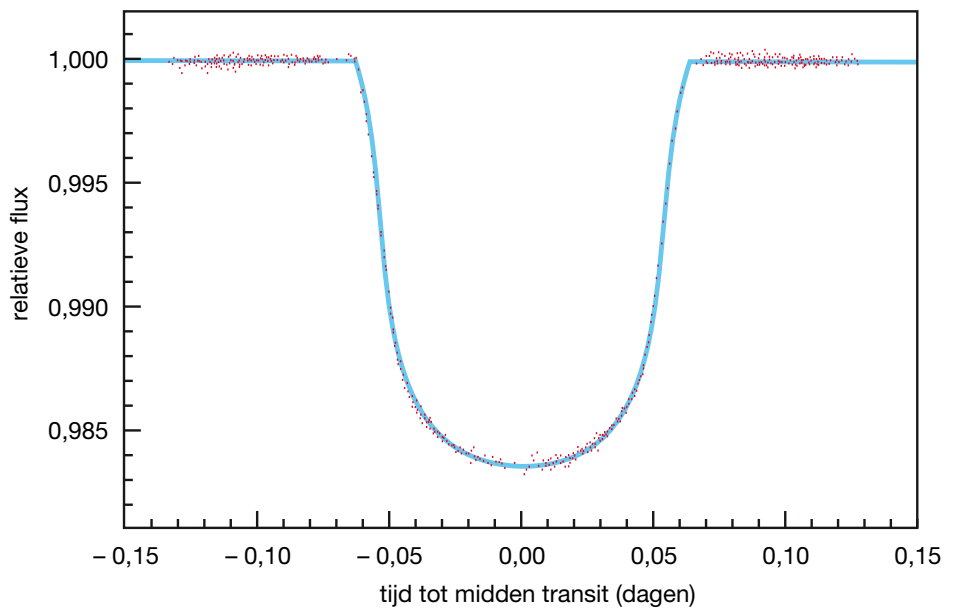
Bereken $\frac{\Delta F_*}{F_*}$ tijdens een transit van de aarde.

NU HET ECHE WERK

We kijken naar gegevens van een echte planeetovergang. Figuur 3 laat de gegevens zien van de ster HD209458. In de figuur is de relatieve flux uitgezet tegen de tijd in dagen. In een formule ziet de relatieve flux er als volgt uit:

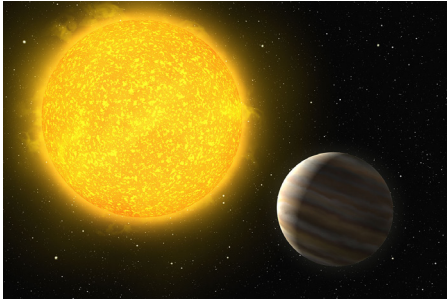
$$1 - \frac{\Delta F_*}{F_*}$$

De rode stipjes zijn metingen, en de blauwe lijn is getrokken om hun verloop duidelijk te maken. De straal van de ster HD209458 is 800.000 km.



Figuur 3: De relatieve flux van de ster HD209458 zoals waargenomen met de Hubble Ruimtetelescoop. Op de y-as staat de relatieve flux, op de x-as de tijd in dagen

- Bekijk figuur 3. Hoe groot is het verlies van de relatieve flux tijdens de transit?
- Bereken de straal van de planeet die voor HD209458 langsgaat.
- Vergelijk deze straal met die van de aarde, wat valt je op? Zoek op (in bijvoorbeeld Binas) met welke planeet van ons zonnestelsel je de exoplaneet het best kunt vergelijken?



Behalve naar de 'diepte' van het verlies aan relatieve flux, kunnen we ook kijken naar de lengte van de tijd dat het verlies optreedt. De lengte van de transit wordt bepaald door twee factoren: de snelheid waarmee de planeet rond de ster beweegt en de grootte van de ster. Stel je voor dat de planeet in een cirkelbaan met straal a_{planeet} rond de ster draait en dit doet met een omlooptijd P_{planeet} .

De snelheid van de planeet wordt dan gegeven door

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi a_{\text{planeet}}}{P_{\text{planeet}}}$$

- Bereken de snelheid in km/uur waarmee de aarde rond de zon draait. Gebruik voor de straal van de cirkelbaan 150 miljoen km en voor de omlooptijd 365 dagen.

Voor de tweede factor, de grootte van de ster, gebruiken we simpelweg de diameter van de ster. Door nu de snelheidsformule te herleiden vinden we de tijd die een transit duurt. Dit herleiden gaat als volgt:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2 \cdot R_{*}}{t_{\text{transit}}} = \frac{2\pi a_{\text{planeet}}}{P_{\text{planeet}}}$$

Via kruislings vermenigvuldigen vinden we de formule voor de lengte van de transit.

$$t_{\text{transit}} = \frac{R_{*} \cdot P_{\text{planeet}}}{\pi \cdot a_{\text{planeet}}}$$

- Stel dat we vanuit een ver ruimteschip naar de zon kijken terwijl de aarde er voorlangs beweegt. Bereken hoe lang de transit van de aarde duurt in uren.

TERUG NAAR HD209458

De periode $P_{\text{exoplaneet}}$ kunnen we achterhalen door steeds naar de ster te kijken, en te tellen hoe lang de tijd tussen twee planeetovergangen is. Uit metingen blijkt dat de periode van de exoplaneet rond ster HD209458 3,52 dagen is. De planeet draait dus in 3,52 dagen om de ster heen! Dit is zeer snel; bedenk dat bijvoorbeeld de aarde hier 365 dagen - een heel jaar - over doet.



10. Bepaal uit figuur 3 de lengte van een overgang in dagen en in uren.
11. Bereken nu de straal van de baan van de exoplaneet ($a_{\text{exoplaneet}}$) in kilometers.
12. Vergelijk de straal van de baan van de aarde met die van de planeet rond HD209458.

Kun je bedenken welk effect de afstand van de planeet tot de ster heeft op de temperatuur op de planeet? Denk je dat er leven mogelijk is op de planeet rond HD209458?

TOT SLOT

Met de transitmethode kun je exoplaneten vinden zonder dat je de planeet zelf ziet. Wat astronomen doen, is goed kijken naar de flux van de ster. Maar de methode heeft ook nadelen. Ten eerste gaan maar weinig planeten vanaf de aarde gezien exact voor hun ster langs. Ten tweede is de dip in de lichtkromme moeilijk waar te nemen voor kleine exoplaneten. Ten derde kan een lange periode van een exoplaneet lastig zijn, omdat je dan lang moet wachten op de volgende overgang. Omdat het met de transit-methode makkelijker is om gasreuzen te vinden dan kleine, aard-achtige planeten zijn er meer gasreuzen ontdekt. Er zijn nog maar een paar aard-achtige exoplaneten ontdekt die zover van hun ster staan dat de temperatuur er aangenaam is en er leven mogelijk zou kunnen zijn. Op <http://exoplanet.eu/catalog.php> kun je zelf alle gegevens van de tot nu toe ontdekte exoplaneten bekijken.

MEEDOEN AAN DE JACHT OP EXOPLANETEN?

In 2009 heeft de ruimtevaartorganisatie NASA de Kepler-telescoop gelanceerd (zie <http://kepler.nasa.gov>.) Deze telescoop observeert de flux van meer dan 100.000 sterren en heeft al tientallen exoplaneten ontdekt. Vanwege de grote hoeveelheid gegevens heeft men de hulp van het publiek ingeroepen. Je kunt meedoen en jezelf als 'planethunter' aanmelden op www.planethunters.org. Misschien ontdek je zelf wel een exoplaneet!

