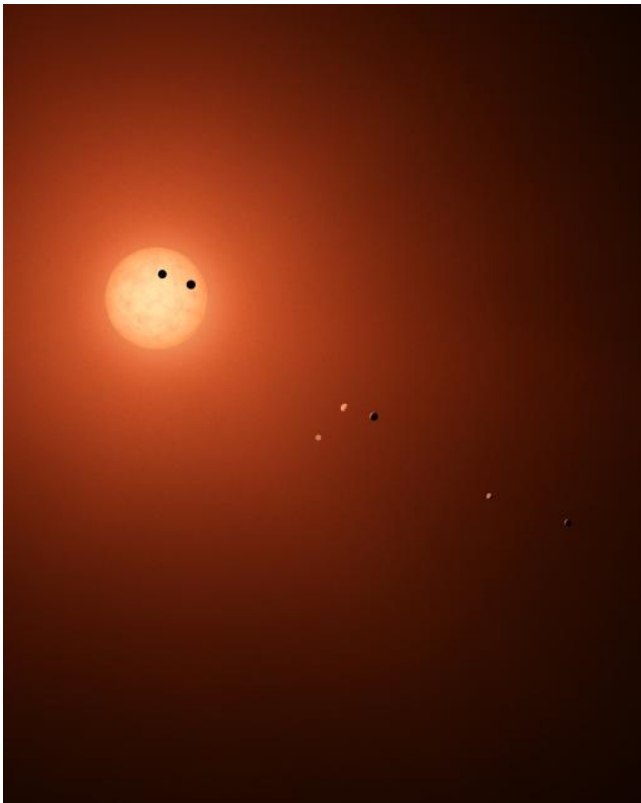


Speuren naar nieuwe werelden

Enkele weken geleden gingen de professoren Michel Mayor en Didier Queloz aan de haal met Zweeds eremetaal. Het Nobelprijscomit  had terecht besloten de helft van 's werelds meest prestigieuze natuurkundeprijs toe te kennen aan de pioniers in de zoektocht naar planeten bij andere sterren dan de zon. Sinds het Zwitsers duo in 1995 de eerste zogenaamde "exoplaneet" rond een zon-achtige ster vond, werd ons universum ontzaglijk veel groter – men vermoedt nu dat vrijwel  lke ster een of meerdere planeten herbergt! Exoplaneten traceren is weliswaar wat lastiger dan vogelspotten, maar astronomen zijn koppig en creatief. In dit artikel bespreken we hoe je dat aanpakt, vreemde werelden waarnemen.

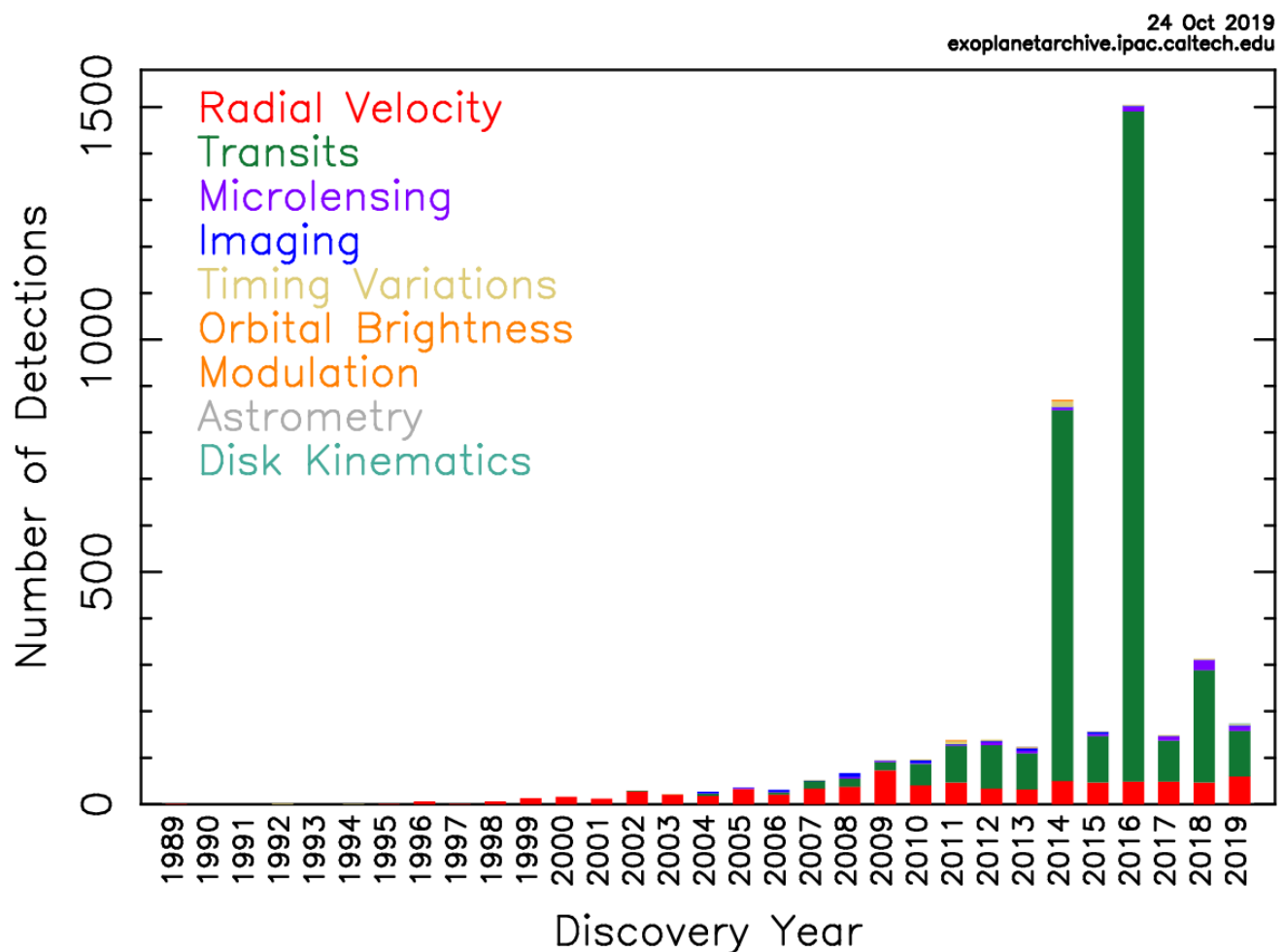


Afbeelding 1. TRAPPIST-1. Artistieke interpretatie van het planetaire systeem TRAPPIST-1. Dit systeem bestaat uit zeven aardeachtige planeten die rond een erg kleine ster bewegen, nog geen 40 lichtjaar hiervandaan. Afbeelding:

NASA/JPL.

De officiële [lijst](#) met exoplaneten is een bonte verzameling. De afstanden naar de aarde gaan van duizenden lichtjaren tot hier “net om de hoek” (rond Proxima Centauri), en hun massa’s lopen uiteen tussen enkele keren die van de maan en enkele tientallen Jupiters. Voor de overgrote meerderheid betreft het echter planeten met een grote massa die dicht bij hun gastster hangen; niet noodzakelijk omdat zulke planeten er meer zijn, maar omdat die meer gevonden worden. Deze systematische bias heeft alles te maken met de eerste en meest succesvolle waarnemingstechniek: transitfotometrie.

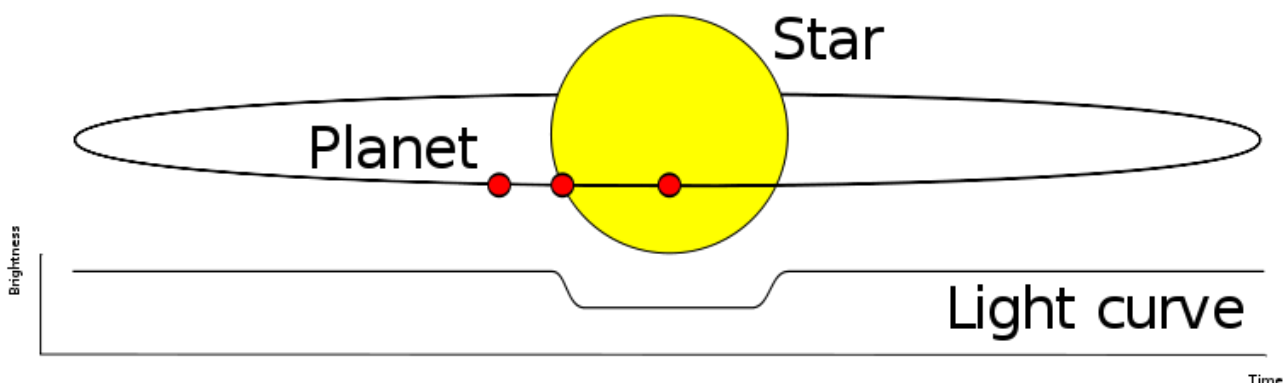
Detections Per Year



Afbeelding 2. Detecties van exoplaneten per jaar en type. Het merendeel van de ontdekkingen wordt gedaan aan de hand van transitfotometrie (voornamelijk van de Kepler-telescoop, die duidelijk veel data vrijgaf in 2014 en 2016) of radiëlesnelheidsbepaling. Het nadeel is dat deze beide methoden een systematische bias hebben voor massieve planeten die dicht bij hun ster staan. Afbeelding: [Exoplanet Archive](#).

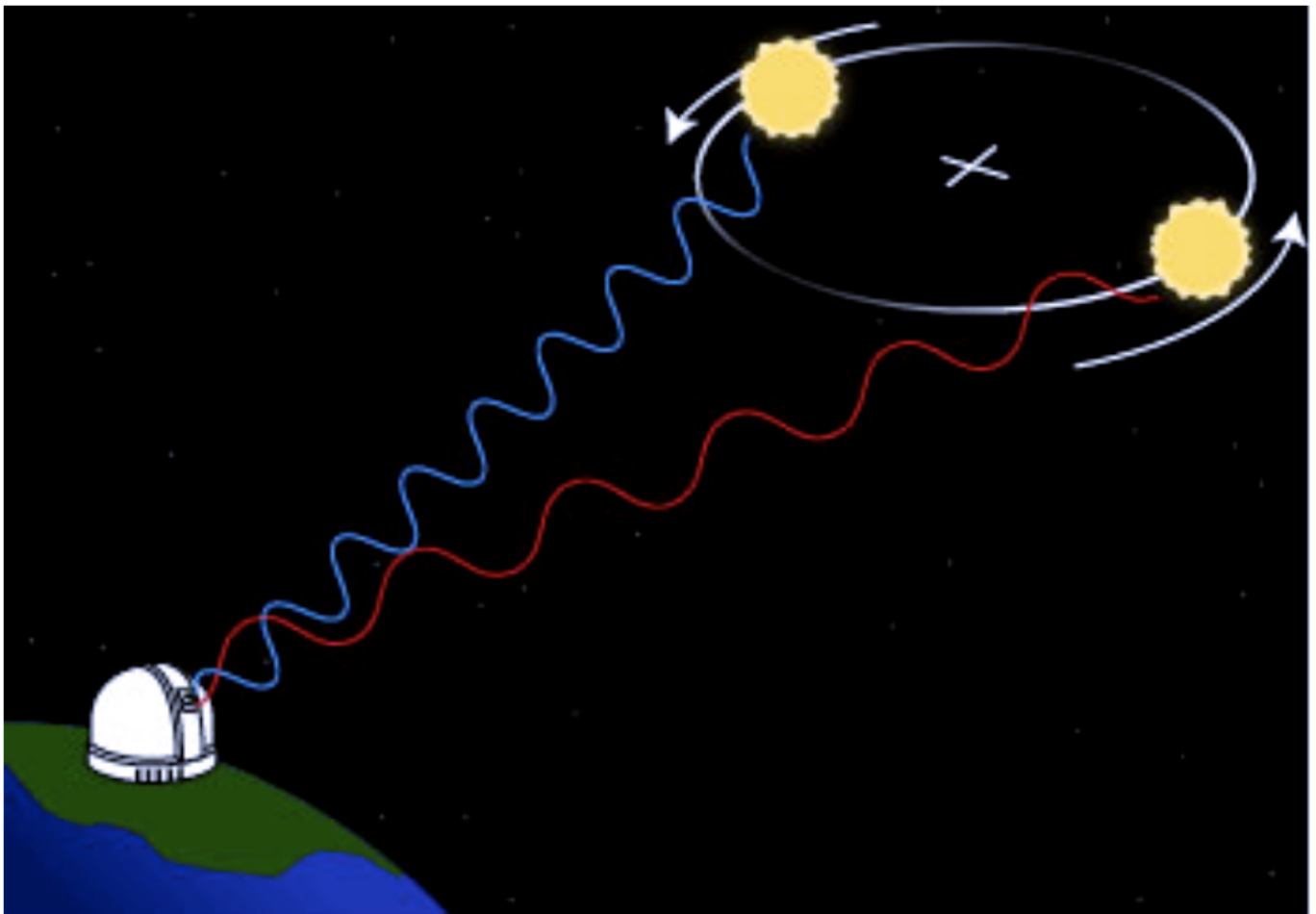
Om transitfotometrie te begrijpen is geen hogere wiskunde vereist. Wanneer een planeet precies op de lijn tussen haar gastster en de aarde staat – wanneer ze “in transit” is – zal een piepklein percentage van het sterlicht de aarde niet langer kunnen bereiken. Als men dus gedurende een lange periode het licht van een ster meet (“fotometrie”), valt soms een korte daling in de lichtintensiteit op te merken – zie afbeelding 3. Dat is een duidelijke aanwijzing voor de aanwezigheid van een passerende planeet. Hoe dichter een planeet bij de ster staat, en hoe groter de planeet is, hoe groter de kans is dat we een “dip” in het licht zullen zien.

Door in detail het veranderend licht te analyseren, wordt informatie gevonden over de grootte van de exoplaneet en over hoe lang een jaar (één omwenteling rond de ster) er duurt. Soms is het zelfs mogelijk om uitspraken te doen over de samenstelling van de atmosfeer, bijvoorbeeld via analyse van de polarisatie van de straling (“polarimetrie”) of door naar het [spectrum](#) te kijken wanneer de planeet zich juist *achter* de ster bevindt (“reflectie-emissiemodulatie”). Het bekende systeem [TRAPPIST-1](#) (zie afbeelding 1) werd op deze wijze onderzocht.



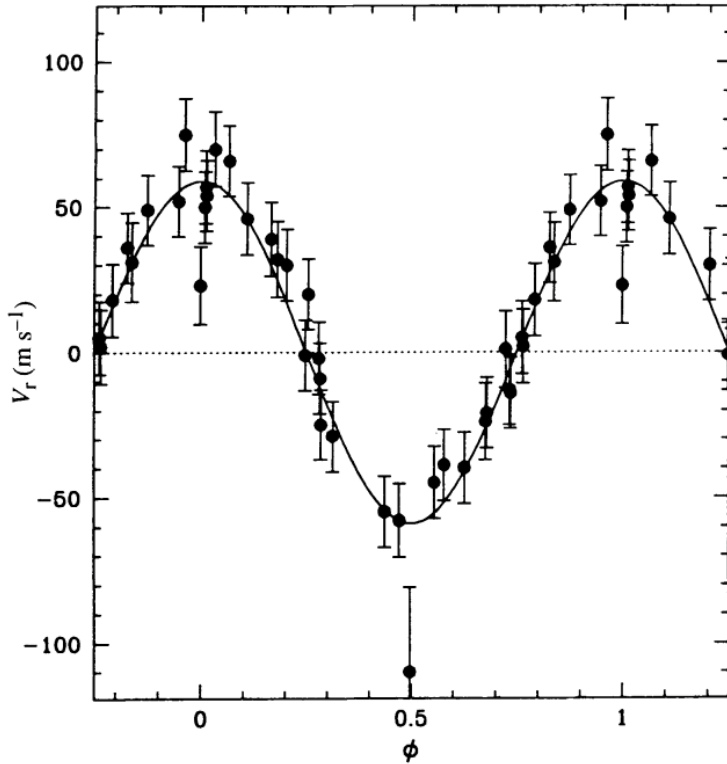
Afbeelding 3. Transitfotometrie. Wanneer een planeet in transit is, vermindert de hoeveelheid licht die de aarde bereikt een tijdje. Let op: de "dip" in de lichtcurve in de afbeelding hierboven is sterk overdreven. Afbeelding: [Wiki](#)-auteur Nikola Smolenski.

Een ander fenomeen dat wordt uitgebuit om exoplaneten op de hielen te zitten, heet het "relativistisch dopplereffect" - zie afbeelding 4. De waargenomen kleur van een lichtbron is afhankelijk van de snelheid ten opzichte van de waarnemer, zoals ook de frequentie van een geluidsbron zoals een sirene verandert wanneer een ambulance je voorbijrijdt. Door nauwkeurige analyse van het subtiel veranderend spectrum van een ster, kan dus de variatie in de snelheid ten opzichte van de aarde (de "radiële" snelheid) op elk moment worden nagegaan.



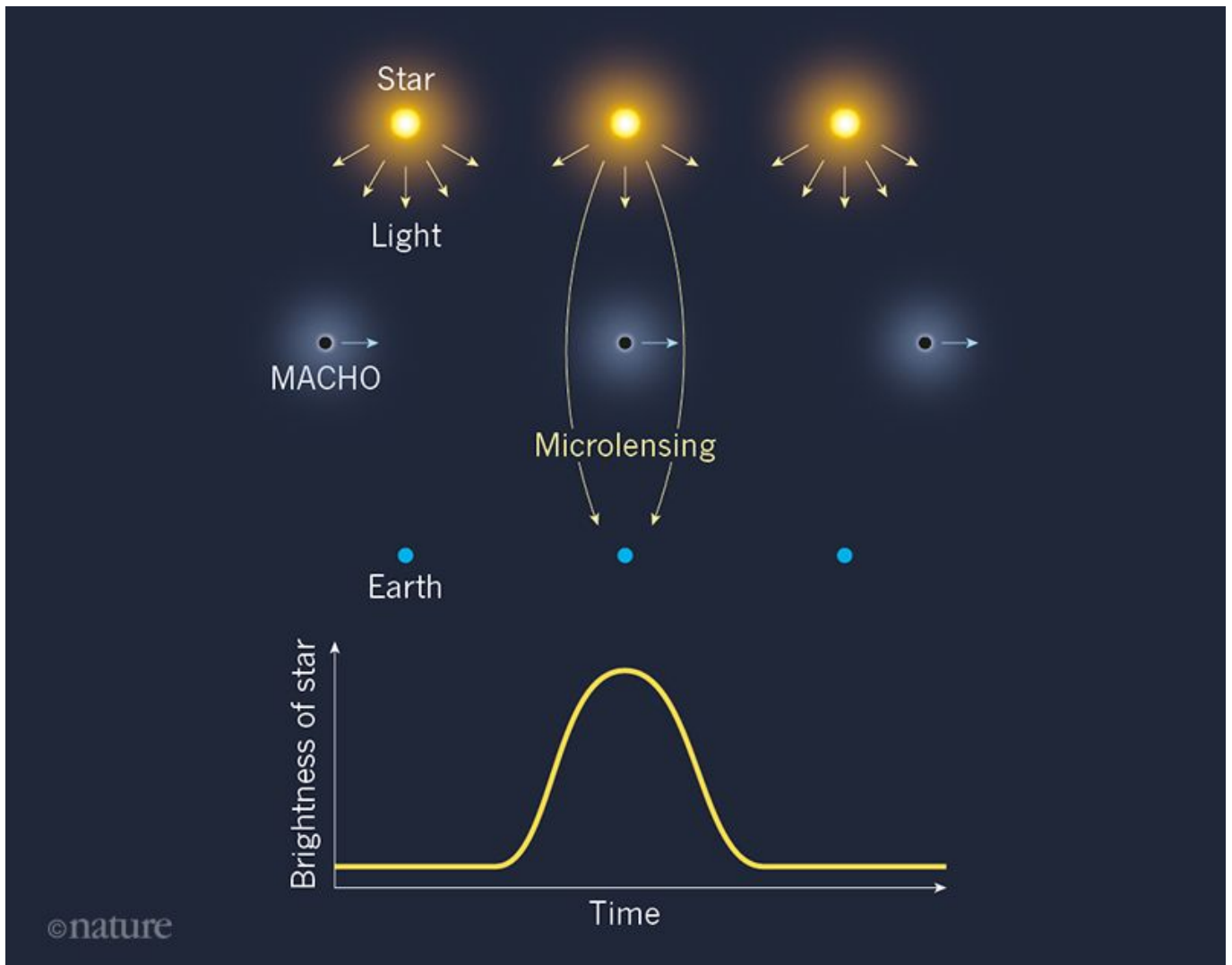
Afbeelding 4. Relativistisch dopplereffect. Dopplerverschuiving in het elektromagnetisch spectrum als gevolg van radiële beweging van een ster. Afbeelding: NASA (via [Extrasolar Planets Catalogue](#)).

Waarom is dat van belang voor de planetenjacht? Indien een ster een planeet herbergt, zal het duo rond het gemeenschappelijk zwaartepunt cirkelen. Een exoplaneet die massief genoeg is en voldoende dicht rond de ster draait, kan die ster door hun wederzijdse aantrekkingskracht soms wel tientallen meters per seconde doen bewegen. 51 Pegasi bijvoorbeeld, de zonachtige ster waaraan Mayor en Queloz hun Nobelprijs te danken hebben, beweegt zich omwille van haar planeet soms 50 meter per seconde sneller van ons weg, en een half “exoplaneetjaar” later evenveel trager – zie afbeelding 5. Dimidium, zoals de planeet gedoopt werd, bewerkstelligt daarom via het relativistisch dopplereffect een frequentieverschuiving in het sterspectrum van een schamele 0,00003 procent. Opmerkelijk toch, hoe *zulk* een detail erin slaagt de buitenaardse wereld te verklikken!



Afbeelding 5. Radiële snelheidsverschuiving van Dimidium. Dimidium (51 Pegasi b) werd ontdekt in 1995 door de analyse van bovenstaande grafiek. De gastster (51 Pegasi) beweegt van de (onze) zon weg met een snelheid van 33,7 km/s, maar doet dat als gevolg van de omwenteling van de exoplaneet soms zo'n 50 m/s sneller, en soms 50 m/s trager. Dat weten we door middel van de dopplerverschuiving in het spectrum. Afbeelding: [het oorspronkelijk artikel](#) van Mayor en Queloz.

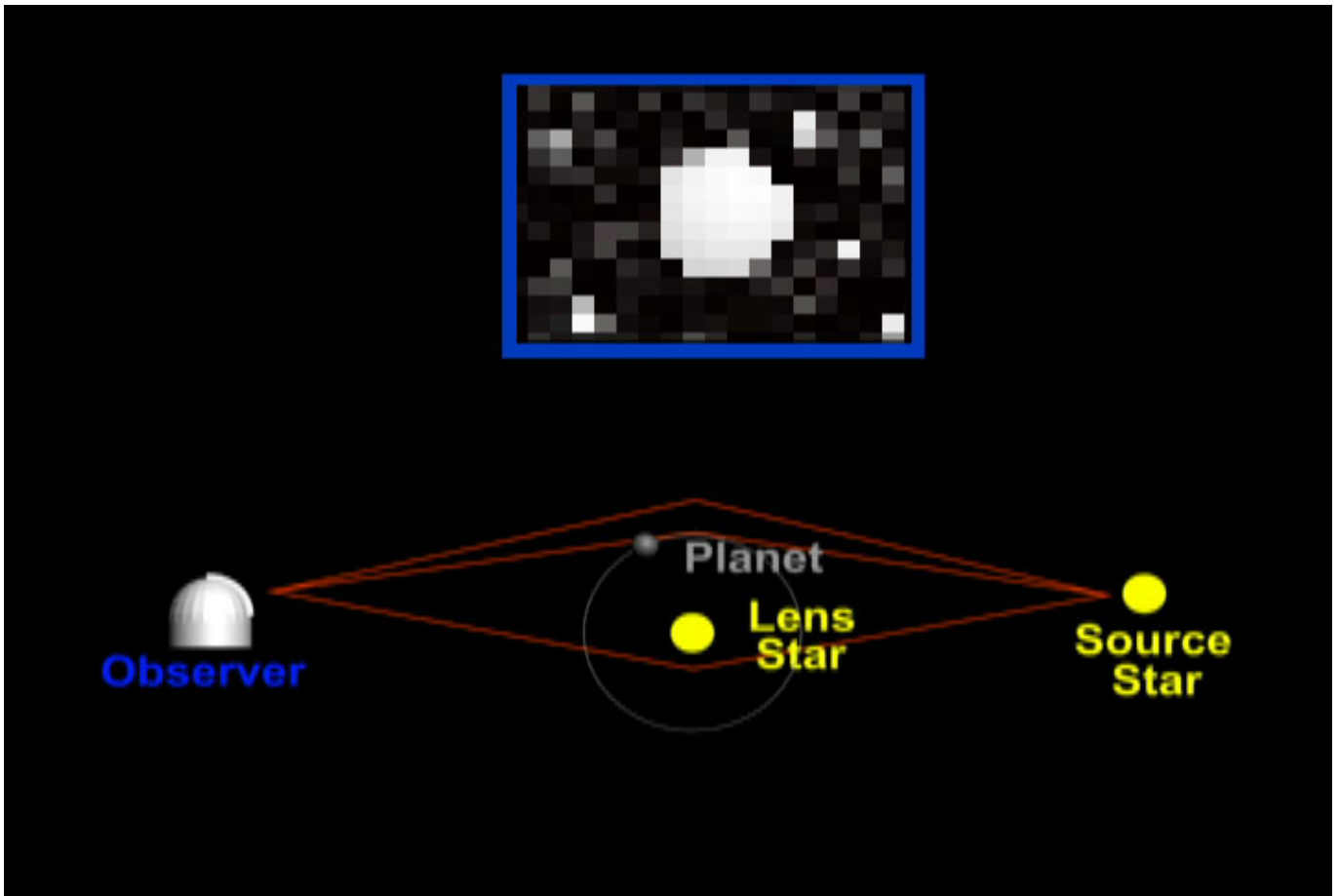
De meeste andere technieken zijn niet zo efficiënt als transitfotometrie of radiëlesnelheidsbepaling, maar kunnen als voordeel hebben dat ze juist gevoelig zijn voor planeten die *niet* zo dicht bij hun gastster staan. Een van die technieken is gravitationele microlensing, een opmerkelijk gevolg van Einsteins algemene relativiteitstheorie. Massieve compacte astrofysische objecten verbuigen aan de hand van hun zwaartekrachtsveld lichtstralen van achterliggende sterren of sterrenstelsels, en doen dat op zo'n manier dat ze die achterliggende bron voor een tijdje helderder maken. Net als een lens focust zo'n object licht op de waarnemer (afbeelding 6).



Afbeelding 6. Gravitationele microlensing. De helderheid van een achterliggend object wordt tijdelijk vergroot door het relativistisch effect dat de lichtstralen om een massief object stuurt. Merk op dat deze techniek ook wordt gebruikt in de zoektocht naar donkere materie, die zich zou kunnen vermommen als massieve astrofysische compacte halo-objecten; daarom passeert er een "MACHO" hierboven. Afbeelding: [Nature](#).

Een ster met een planeet ver weg van die ster zou het achterliggend object aan de hand van microlensing *meer* en op een andere wijze doen toenemen in helderheid dan een ster zonder een dergelijke planeet - zie afbeelding 7. Op die manier zijn al enkele tientallen exoplaneten gevonden die *wel* ver van hun ster staan. Aan deze methode zijn helaas ook nadelen verbonden, waarvan de belangrijkste zonder twijfel is dat het niet gaat om een continu

fenomeen: wanneer een exoplaneet de lijn tussen de observator en de lichtbron gepasseerd is, zal dat niet nog eens gebeuren. De waarneming is dus niet nadien te verifiëren.

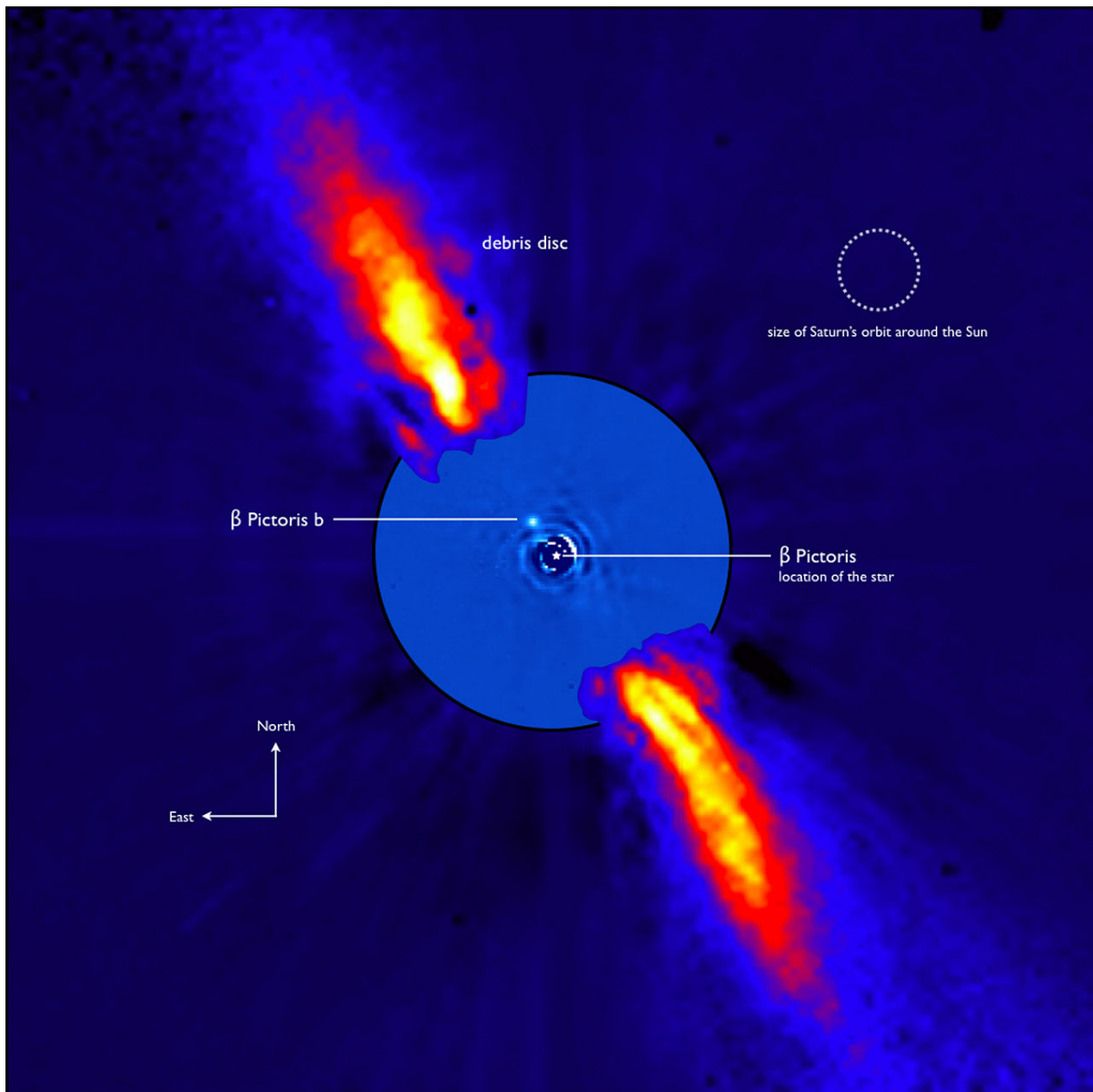


Afbeelding 7. Bijkomende lichtverbuiging door een exoplaneet. Het effect van microlensing wanneer een extra object rond de lens gesitueerd is, verraaft de aanwezigheid van een exoplaneet, en doet dat vooral voor massieve planeten ver weg van hun ster. Afbeelding: [NASA](#).

De aanwezigheid van exoplaneten kan nog op een aantal andere wijzen geverifieerd worden, waaronder astrometrie, relativistische *beaming*, en door van de getijdenvervorming van de planeet op de ster gebruik te maken. We zullen hier op al deze methodes niet dieper ingaan, maar wat zeker *wel* nog vermeld moet worden is het direct fotograferen van exoplaneten.

Het lijkt vrij bizar dat we foto's zouden kunnen maken van planeten tientallen lichtjaren

hiervandaan, terwijl het al een uitdaging is om Pluto, die zijn rondjes rondt onze eigen zon draait, waar te nemen. Bovendien is de exoplaneet niet alleen heel ver weg, maar ook nog eens lastig te onderscheiden van haar gastster; het is alsof je een vuurvliegje wil zien zitten op een straatlantaarn. Toch is dat wat al enkele tientallen malen is gebeurd, zij het onder bijzondere omstandigheden. Ten eerste wordt van een zogenaamde coronograaf gebruik gemaakt: het directe licht van de ster wordt geblokkeerd, zoals je op een zonnige dag je hand boven je ogen houdt om beter te kunnen kijken. Ten tweede observeren astronomen in infrarood licht, en dan vooral naar grote planeten die dicht bij hun ster staan. De reden daarvoor is dat deze planeten sterk opgewarmd zijn, en dus veel infrarood licht uitstralen. In het bijzonder worden protoplanetaire schijven zo gevonden (afbeelding 8), want deze zijn niet zichtbaar met transitfotometrie of de radiëlesnelheidsmethode.



Afbeelding 8. Directe fotografie. Infraroodafbeelding (golflengte 3,6 micron) van de stellaire schijf rond Beta Pictoris (op 63 lichtjaar), genomen door Very Large Telescope van het European Southern Observatory. De schijf is 1000 keer zwakker in intensiteit dan de ster zelf, waarvan het licht tegengehouden is. We zien een schijf waaruit waarschijnlijk planeten zullen ontstaan (protoplanetaire schijf). Om ondubbelzinnig dergelijke schijven te zien is directe fotografie de enige mogelijkheid. Afbeelding: [ESO](https://www.eso.org/).

Transitfotometrie, radiëlesnelheidsbepaling door het dopplereffect, gravitationele microlensing, rechtstreekse foto's... Het grote aantal mogelijkheden dat inventieve

wetenschappers gebruiken om werelden buiten de onze te ontdekken staat hen toe deze moeilijke opgave aan te gaan. Er bestaat geen twijfel dat we nog vele duizenden nieuwe planeten zullen ontdekken, waarvan bovendien vele in principe leven kunnen ondersteunen. Het middeleeuwse idee dat de aarde een unieke plek in het centrum van het universum is, is met de ontdekking en classificatie van exoplaneten een gedachte die nu absurder klinkt dan ooit. Waarom we ondanks de miljoenen mogelijke leefbare planeten toch geen buitenaards contact gehad hebben, is voer voor een andere discussie.