

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/67080> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Ridden, - Harper A.

Title: Inferno Worlds

Issue Date: 2018-11-21

6 | Samenvatting

Het beeld van planeten in een baan rond verre sterren wordt al lang gebruikt om te fascineren en te vermaken in science fiction romans en films. In de afgelopen decennia hebben planeten rond andere sterren dan de zon (zogenoeten ‘exoplaneten’) echter het domein van science fiction verlaten en zijn ze volledig terechtgekomen in het wetenschapsgebied.

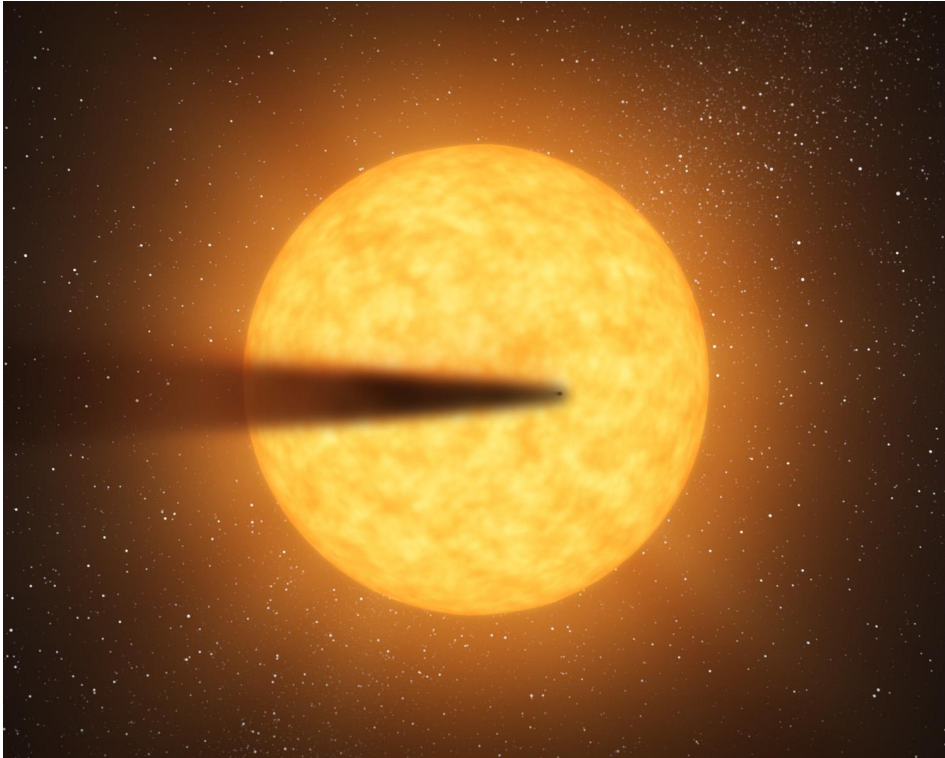
Na ongeveer 25 jaar aan ontdekkingen van exoplaneten, kennen we er nu meer dan 3500. Het is makkelijker om exoplaneten te detecteren die dichtbij hun ster staan, en dus staat de meerderheid van de bekende exoplaneten dicht bij hun ster dan de planeten in ons zonnestelsel bij de zon staan. Over het algemeen hebben planeten die dicht bij hun ster staan ook kortere omlooptijden, waardoor de exoplaneten met de kortste afstanden een omlooptijd van minder minder dan een dag kunnen hebben. Deze planeten bevinden zich zo dichtbij hun sterren dat ze normaal gesproken temperaturen hebben van rond de 2000 °C. Ter vergelijking, de planeet die het dicht bij de zon staat in ons zonnestelsel is Mercurius, met een omlooptijd van 88 dagen en een temperatuur van ongeveer 430° C.

Dit proefschrift richt zich op planeten met korte omlooptijden en overwegend rotsachtige samenstellingen (in tegenstelling tot ‘gasreuzen’ zoals Jupiter). Deze ‘hete rotsachtige exoplaneten’ vertonen vanwege hun hoge temperaturen interessante eigenschappen die ons in staat stellen hun samenstelling in veel meer detail te bestuderen dan mogelijk zou zijn voor koelere rotsachtige planeten.

6.1 Gas van hete rotsachtige planeten

Rotsachtige planeten die dicht bij hun sterren staan, worden blootgesteld aan een sterke sterrenwind en worden tot zeer hoge temperaturen verwarmd.

Als ze geen dikke atmosfeer hebben, kunnen we deze planeten als extreme versies van Mercurius beschouwen. Mercurius heeft een exosfeer (een heel dunne atmosfeer), die wordt geproduceerd doordat het oppervlak sputtert. Dit wordt veroorzaakt door geladen deeltjes met hoge energie van de zonnwind die het oppervlak raken en ervoor zorgen dat atomen vrijkomen. Elementen zoals natrium,



Figuur 6.1: Een impressie van de desintegrerende rotsachtige exoplaneet Kepler-1520 b. Afbeelding van: NASA/JPL-Caltech - NASA Jet Propulsion Laboratory.

magnesium en calcium zijn gedetecteerd in de exosfeer van Mercurius. Gezien de exosferen van hete rotsachtige exoplaneten nog groter kunnen zijn vanwege hun kortere afstanden tot hun sterren, zijn ze mogelijk ook waarneembaar. Het is ook mogelijk dat hun hoge temperaturen ervoor zorgen dat het oppervlak verdampt, waardoor er atmosferen ontstaan die uit minerale dampen bestaan en die mogelijk ook kunnen worden waargenomen.

In de meest extreme gevallen desintegreren hete rotsachtige exoplaneten en produceren ze komeet-achtige stofstaarten. Een artistieke indruk van de desintegrerende rotsachtige exoplaneet, Kepler-1520 b, wordt getoond in Fig. 6.1. Men denkt dat het stof verloren gaat van de planeet als gevolg van de uitzetting en afkoeling van de mineraal-dampen atmosfeer, tot een deel van de damp kan condenseren tot stofdeeltjes en van de planeet worden weggeslept door het resterende uitzettende gas. Daarnaast kan vulkanische activiteit ook een rol spelen. Zowel het gas dat direct van de planeet verloren gaat, als het gas dat wordt geproduceerd door het verdampen van stof in de staart, kan mogelijk worden gedetecteerd.

In al deze gevallen is het gas afkomstig van het oppervlak van de planeet, dus de samenstelling van het gas moet de samenstelling van de planeet weerspiegelen. Daarom bieden deze objecten ons de mogelijkheid om ongekend inzicht te krijgen in de samenstelling van rotsachtige planeten. Deze informatie zou in grote mate bijdragen aan ons begrip van hoe deze planeten werden gevormd en hoe ze zich zullen ontwikkelen.

6.2 Waarnemen van exoplaneet atmosferen

Wanneer licht door een gas doorkruist, worden unieke golflengten geabsorbeerd door atomen of moleculen in het gas. Deze absorpties worden spectraallijnen genoemd en zijn afhankelijk van de samenstelling van het gas. Ze kunnen worden bestudeerd met spectrografen, instrumenten die wit licht verspreiden in hun regenboog van samenstellende kleuren (of golflengten). Met deze techniek kunnen de composities van verre astronomische objecten worden bepaald. Wanneer toegepast op exoplaneten kan het worden gebruikt om de samenstellingen van hun atmosferen te bepalen. Dit kan het makkelijkst worden toegepast op exoplaneten die, vanaf de Aarde gezien, voor hun ster langs gaan (een transit), omdat dat ons in staat stelt te zien hoe het licht van de ster veranderd doordat het door de atmosfeer van de exoplaneet gaat. Dit is echter een uitdaging omdat de moederster en de atmosfeer van de Aarde ook hun eigen spectraallijnen in beeld brengen, die veel sterker zijn dan de spectraallijnen van de atmosfeer van de planeet. Daarom is het noodzakelijk om de bijdragen van de ster en de atmosfeer van de Aarde te verwijderen om de bijdrage van de atmosfeer van de exoplaneet te meten.

Dit kan worden bereikt door gebruik te maken van het feit dat de exoplaneet een veranderende radiële snelheid heeft tijdens de transit, omdat deze bij aan het begin (wanneer de planeet zich voor het eerst voor zijn ster beweegt) een snelheidscomponent naar de waarnemer toe heeft en aan het einde (wanneer de planeet bijna voorbij de schijf van ster is) een snelheidscomponent weg van de waarnemer heeft. Een relatieve snelheid tussen een lichtbron en een waarnemer verandert de golflengte van het waargenomen licht vanwege het Doppler-effect. Daarom zal de veranderende radiële snelheid van de planeet tijdens de transit ertoe leiden dat zijn spectraallijnen wegschuiven van de lijnen van de ster en de atmosfeer van de Aarde.

Deze techniek wordt in hoofdstuk 2 van dit proefschrift gebruikt om te zoeken naar natrium en geïoniseerd calcium in de atmosfeer van de hete super-Aarde, 55 Cancri e. Hoewel we geen definitieve detectie konden maken, hebben we in slechts één van onze waarnemingen een sterk signaal van geïoniseerd calcium gevonden, wat mogelijk suggereert dat de exosfeer ervan variabel is, zoals de exosfeer van Mercurius.

Het wordt ook in hoofdstuk 5 van dit proefschrift gebruikt om gas te zoeken rond de desintegrerende planeet K2-22 b. Hoewel we verwachten dat een grote hoeveelheid gas wordt geproduceerd door het verdampen van de stofstaart, konden we deze niet detecteren. We redeneren dat dit waarschijnlijk te wijten is aan het feit dat de gasatomen aanzienlijk blauwverschoven zijn door stralingsdruk van de ster, waarbij fotonen van licht hun momentum aan de gasatomen overdragen.

6.3 Stofstaarten

De stofstaarten van desintegrerende rotsachtige exoplaneten die voor hun ster langs gaan produceren karakteristieke lichtkrommes die kunnen worden bestudeerd om de eigenschappen van de stofdeeltjes, zoals hun gemiddelde grootte en samenstelling, te begrenzen. Dit is zeer waardevolle informatie omdat het inzicht kan geven in de samenstelling en geofysische processen van de planeet. Deze informatie kan echter alleen worden afgeleid als de vorming en evolutie van de staarten wordt begrepen, en die hangen af van de banen waarop de stofdeeltjes in de staart zich bewegen. De stofdeeltjes ondervinden een stralingsdruk, waardoor ze worden weggeduwd van de ster en de zwaartekracht van de ster, waardoor ze naar de ster worden toegetrokken. Voor de stofdeeltjes in deze staarten is de zwaartekracht van de ster iets sterker dan de stralingsdruk, zodat de totale kracht die op de deeltjes inwerkt een verminderde kracht richting de ster is, waardoor ze in vaste banen blijven. Hoofdstukken 3 en 4 gebruiken een code om lichtkrommes te simuleren door een staart op te bouwen uit virtuele stofdeeltjes die van het planeet oppervlak worden gelanceerd, de staart te laten evolueren onder invloed van stralingsdruk, en tot slot met een stralingstransport code de lichtkrommes te simuleren die de staart zou produceren.

In Hoofdstuk 3 gebruiken we deze code om grenzen te zetten op de snelheid waarmee de stofdeeltjes worden gelanceerd van de planeet, waardoor mogelijk inzicht wordt verkregen in het geofysische mechanisme dat het massaverlies veroorzaakt. We onderzoeken ook hoe de hoeveelheid stof in de staart de diepte van de transit beïnvloed op verschillende golflengten, en zien dat staarten met meer stof minder variatie vertonen met golflengte, wat mogelijk verklaart waarom slechts enkele waarnemingen op meerdere golflengtes een dergelijke variatie zien.

In hoofdstuk 4 passen we deze code aan om te onderzoeken hoe de banen van de stofdeeltjes worden beïnvloed door zelfafscherming in de staart, wat betekent dat stofdeeltjes aan de ster-zijde van de staart een deel van het sterlicht absorberen, waardoor deeltjes die verder van de ster staan in de staart minder licht ontvangen en dus een zwakkere stralingsdruk ervaren en minder snel verdampen. We vonden dat zelfafscherming in sommige gevallen een grote impact heeft op de vorm van de staart en dat het stof een samenstelling moet hebben die uit zichzelf snel verdampt

om het waargenomen gebrek aan correlatie tussen de dieptes van opeenvolgende transits te reproduceren.