

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/49240> holds various files of this Leiden University dissertation

Author: Schwarz, Henriette

Title: Spinning worlds

Issue Date: 2017-06-01

Samenvatting

Iets minder dan twintig jaar geleden werd de eerste planeet in een baan rond een andere ster dan onze eigen zon ontdekt. Het bestaan van zulke vreemde werelden werd lang aangenomen, maar we hadden geen idee dat het in de melkweg bruist van de planetenstelsels. Ze worden exoplaneten genoemd, een afkorting van extrasolaire planeten, om aan te geven dat ze zich buiten het zonnestelsel bevinden. In de jaren sinds die eerste ontdekking zijn duizenden exoplaneten gevonden door middel van een aantal verschillende waarneemtechnieken, en nieuwe methoden zijn ontwikkeld om hun banen, samenstellingen en atmosferen te onderzoeken.

De studie van exoplaneten is een zoektocht om onze plaats in het heelal te begrijpen. Hoe uniek is het zonnestelsel? Hoe buitengewoon is de Aarde? Is leven op Aarde een ondoorgrondelijk toeval, of wemelt het van het leven in de melkweg? Een van de grootste verrassingen tot dusver is de verbazingwekkende verscheidenheid in samenstellingen en banen van de ontdekte exoplaneten geweest. Er zijn planeten die in een Aardse dag een baan om hun ster voltooien, en anderen die er juist duizenden Aardse jaren over doen om een enkele baan te voltooien. Hoewel sommige systemen meerdere planeten of zelfs meerdere sterren hebben, bestaan anderen naar ons beste weten uit een enkele ster en planeet. De diversiteit aan exoplaneten vormt een uitdaging voor de ontstaanstheorieën die ontwikkeld zijn voor het zonnestelsel, en elke moderne theorie moet streven naar een verklaring voor de gehele waargenomen variëteit aan planetenstelsels.

Dit proefschrift behandelt twee verschillende typen gasreus-exoplaneten, die twee tegenovergestelde uitersten in baantype vertegenwoordigen: hete Jupiters en jonge gasreuzen in wijde omloopbanen. Een hete Jupiter is een gasreus met een massa vergelijkbaar met die van Jupiter, maar met een omlooptijd van minder dan vijf dagen. De nabijheid tot de ster leidt tot zeer hoge temperaturen, en veel van deze planeten blijken een veel grotere straal te hebben dan die van Jupiter, ondanks de vergelijkbare massas. De wijdebanaan gasreuzen daarentegen bevinden zich over het algemeen op een afstand van hun ster van tientallen tot honderden keren de afstand van de Aarde tot de Zon. Deze exoplaneten zijn ontdekt met directe waar-

nemingen, wat inhoudt dat de ster en de planeet als twee verschillende objecten te zien zijn in astronomische waarnemingen. Dit is mogelijk vanwege de wijde baan, en zelfs dan nog alleen als de gasreus extreem heet is. De afstand tot de ster is te groot om de planeetatmosfeer significant op te warmen, maar als het stelsel jong is - tot een paar honderd miljoen jaar - zal de planeet nog zijn ontstaanswarmte hebben. Hoewel momenteel alleen jonge exoplaneten direct waargenomen kunnen worden, biedt dit ook een unieke mogelijkheid om planeten in de vroegste stadia van hun leven te bestuderen.

Het bestuderen van exoplaneet-atmosferen

Afhankelijk van hoe een exoplaneet is ontdekt kunnen sommige van de fundamentele fysieke eigenschappen, zoals de massa en straal, direct vanuit de detectie worden geschat. Echter, detectie is slechts de eerste stap in het begrijpen van de fysieke eigenschappen van een exoplaneet. Het karakteriseren van de planeet-atmosfeer volgt daarop. Dit kan de chemische samenstelling van de atmosfeer aantonen, en, zoals dit proefschrift laat zien, de temperatuur en de rotatie van de planeet. Uiteindelijk willen we bewijs vinden voor biologische activiteit door de detectie van biosignatuurgassen in de atmosfeer - zoals moleculair zuurstof in de atmosfeer van de Aarde.

De planeetdetectiemethodes zijn vooral indirect, wat betekent dat het licht van de ster en de planeet vermengd zijn, en de aanwezigheid van de planeet wordt afgeleid uit het licht van de ster. Voor het karakteriseren van de atmosfeer is het noodzakelijk om het licht van de planeet van dat van de ster te scheiden. Dit kan op verschillende manieren gedaan worden. De meest succesvolle methoden tot dusver worden toegepast bij exoplaneten met planeetovergangen. Dit zijn exoplaneten waarbij de baan bij toeval zodanig georiënteerd is dat de planeet vanaf de Aarde gezien voor de ster langs beweegt. De methodes zijn gebaseerd op hoe de bijdrage van de planeet aan het waargenomen licht (ster + planeet) periodiek verandert. De planeet verdwijnt achter de ster, komt weer tevoorschijn waarbij vanaf de Aarde gezien geleidelijk de bijdrage van de dag- en nachtkant verandert, en wanneer dan de planeetovergang voor de ster plaatsvindt wordt een deel van het sterlicht gefilterd door de planeetatmosfeer, waarbij het een soort vingerafdruk achterlaat in het waargenomen licht. In het geval van de direct waargenomen planeten met wijde baan kan het licht van de planeet direct in andere pixels dan die van de ster worden gescheiden, hoewel er onvermijdelijk verstrooid sterlicht op de positie van de planeet terecht zal komen. In dit proef schrift combineer ik de bovenstaande methoden met infraroodspectroscopie met hoge resolutie. Dit geeft een extra filtermechanisme omdat het spectrum van de ster anders is dan dat van de planeet.

De verticale temperatuurstructuur van een hete Jupiter

Een belangrijk aspect van alle exoplaneet atmosferen is hoe de temperatuur verandert met de hoogte. Over het algemeen dringt de straling van de ster diep door in de atmosfeer van de planeet, waarbij het deze van onderaf verwarmt. Dit zorgt ervoor dat de temperatuur met toenemende hoogte afneemt. Echter, sterke optische- of UV-absorbeerters in de bovenlagen van de atmosfeer kunnen er voor zorgen dat in een bepaalde laag of regio in de atmosfeer de temperatuur in plaats daarvan stijgt met toenemende hoogte. De temperatuur is geïnverteerd. Zulke temperatuurinversies zijn veelvoorkomend bij de planeten in het zonne stelsel. Jupiter en de andere reuzenplaneten hebben thermische inversies die door CH_4 -geïnduceerde nevel veroorzaakt worden, terwijl O_3 de inversie in de stratosfeer van de Aarde veroorzaakt.

Thermische inversies zouden ook algemeen aanwezig kunnen zijn in de atmosferen van hete Jupiters. Er zijn claims geweest van inversielagen in atmosferen van verschillende hete Jupiters, vooral gebaseerd op waarnemingen met de Spitzer ruimtetelescoop. Hoewel deze claims intrigerend zijn, is duidelijk geworden dat ze ook controversieel en vatbaar voor meerdere interpretaties zijn. In hoofdstuk 2 presenteer ik de resultaten van hoge-dispersie spectroscopische waarnemingen in het nabij-infrarood van de beroemde hete Jupiter HD 209458 b. Deze exoplaneet werd lang beschouwd als de gouden standaard voor een hete Jupiter met een thermische inversie; wij hebben echter bewijs gevonden tegen een sterke thermische inversie. Onze waarnemingen kunnen het beste uitgelegd worden met een temperatuur die nauwelijks verandert met de hoogte.

Een eerste studie van de rotatie van exoplaneten

De Aarde draait om zijn eigen as, en dit bepaalt de lengte van dag en nacht. De rotatie beïnvloedt het klimaat, de atmosferedynamica en het magnetisch veld van een planeet. Daarom is het kunnen meten van de rotatieperiode van exoplaneten van groot belang. Tevens kan het licht werpen op het vormingsproces en de evolutie.

Twee vormingsprocessen worden vooral beschouwd voor reuzeplaneten: i) kernaccretie en ii) schijffragmentatie. Van Jupiter en Saturnus wordt algemeen aangenomen dat ze door kernaccretie zijn gevormd. In dit type vormingsmodellen valt gas in op vaste planeetembryos van enkele tot tien Aardmassas die op een afstand van vergelijkbaar met die van Jupiter zijn ontstaan. De ontdekking van extrasolaire

reuzenplaneten met extreem wijde banen heeft ertoe geleid dat de schijffragmentatietheorie nieuw leven is ingeblazen, omdat het kernaccretiemodel moeite heeft het bestaan van planeten zo ver weg van de ster te verklaren. Deze theorie stelt dat (exo)reuzenplaneten kunnen ontstaan als een gravitatie-instabiliteit in de schijf die op zichzelf instort in de buitenregio van de planetaire schijf. De planetaire rotatie is vooral een gevolg van accretie van impulsmoment tijdens het ontstaan, en als kernaccretie en gravitationele instabiliteit in verschillende impulsmomenten resulteren is het mogelijk dat dit zichtbaar wordt in onderzoek naar de rotatie van substellaire begeleiders als een functie van de massa of baanafstand van de ster.

Ons team heeft een kleine studie uitgevoerd met het doel om de rotatiesnelheden van jonge, wijdbaanse exoplaneten te bepalen. De waarnemingen combineren hoge-resolutie spectroscopie met hoog-contrast waarnemingen, en deze baanbrekende techniek heeft geleid tot de eerste metingen van de rotatie van exo-planetten. In de praktijk meten we de geprojecteerde rotatiesnelheid. Dit betekent de component van de rotatiesnelheid langs de zichtlijn, en de snelheden zijn dus de ondergrens. In hoofdstukken 3, 4 en 5 presenteer ik de resultaten van drie individuele objecten, en in hoofdstuk 5 bestudeer ik ook de hele steekproef. Ik onderzoek de rotatie als een functie van de massa, baanafstand en leeftijd. Hoewel de bestudeerde steekproef klein is zien we wel een correlatie tussen de rotatiesnelheid en de leeftijd, die we interpreteren als gevolg van het nog steeds accreteren van materiaal en impulsmoment door de jongste objecten, en de als gevolg van daaropvolgende koeling en samentrekking toenemende rotatie.