



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Extrasolar planet detection through spatially resolved observations

Meshkat, T.R.

Citation

Meshkat, T. R. (2015, June 11). *Extrasolar planet detection through spatially resolved observations*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/33272>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/33272>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/33272> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Meshkat, Tiffany

Title: Extrasolar planet detection through spatially resolved observations

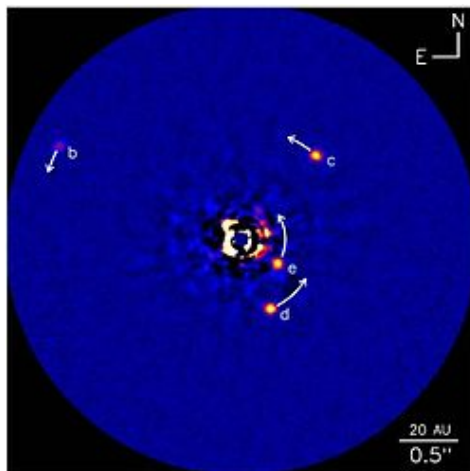
Issue Date: 2015-06-11

NEDERLANDSE SAMENVATTING

De interesse in andere planeten maakt al duizenden jaren deel uit van het menselijk onderzoek. De Griekse Filosoof Epicurus stelde, in de vierde eeuw voor Christus, dat er andere werelden – gelijk en anders dan de onze – moeten bestaan. Onze nieuwsgierigheid stamt waarschijnlijk af uit het doel om onszelf, onze planeet en onze plaats in het universum te begrijpen. Tot recentelijk waren de enige planeten die wij kenden afkomstig uit ons eigen zonnestelsel. Ondanks dat het direct verkrijgen van een afbeelding van een planeet de meest logische manier lijkt om planeten in andere zonnestelsels te vinden (“extrasolaire planeet”: exoplaneet) hebben technische beperkingen het jarenlang niet toegelaten dat deze methode succesvol was. Het gevolg was dat het bestaan van exoplaneten pas werd bevestigd toen indirecte detectietechnieken gevoelig genoeg werden om planeten te vinden.

De eerste exoplaneetdetectietechniek, genaamd radiële snelheid, meet de kleine wiebel van een ster als gevolg van de zwaartekracht van een nabijgelegen, nog onbekende, planeet. Tot grote verbazing van veel planetaire wetenschappers heeft deze zwaartekrachtwiebeltechniek ervoor gezorgd dat honderden exoplaneten, geheel anders dan die in ons zonnestelsel, aan het licht zijn gekomen. Veel van de eerst ontdekte planeten waren in massa vergelijkbaar met Jupiter, alleen waren ze erg dicht bij hun moederster, binnen de omloopbaan van Mercurius. Vervolgens is er een andere indirecte techniek ontwikkeld om de subtiele daling in helderheid van een ster te detecteren als er een planeet voorlangs passeert (dit wordt een overgang genoemd). Deze overgangstechniek was ook een erg succesvolle indirecte techniek om planeten te detecteren, met als gevolg de ontdekking van honderden exoplaneten. Sindsdien hebben technologische ontwikkelingen vanaf de aarde en telescopen in de ruimte geleid tot de ontdekking van meer dan 1500 bevestigde exoplaneten, verschillend in massa en planetaire architectuur. De grootte en distributie van exoplaneten rond nabijgelegen sterren in ons sterrenstelsel biedt inzicht in de wijze van planeetvorming. Dit kan ons uiteindelijk helpen om erachter te komen of ons zonnestelsel typisch is of een uitzondering.

Het direct verkrijgen van een afbeelding van een exoplaneet is een recentelijk succesvolle techniek die ons toestaat om exoplaneten te detecteren en karakteriseren. Deze techniek is buitengewoon krachtig omdat we licht van de planeet zelf kunnen registreren, dit staat ons toe om de afstand van de planeet tot de ster



Figuur 7.2 Directe afbeelding van de ster HR 8799 met vier planeten eromheen. De ster is in het centrum van de afbeelding en de vier planeten zijn gelabeld als b, c, d, en e.

en karakteristieken van de planeet zoals atmosfeer te bestuderen. Echter is deze methode van planeetdetectie om meerdere redenen een uitdaging, sommige zijn meteen duidelijk -planeten zijn klein, niet helder en in de buurt van hun heldere moederplaneet- andere zijn niet zo duidelijke -optische limieten. De beperkingen van de huidige technologie staan alleen het direct verkrijgen van een afbeelding toe bij jonge planeten die nog warm zijn van hun vorming. Deze jonge, nog warme, planeten zijn makkelijker te detecteren bij infrarode golflengtes. Aangezien planeetvorming niet goed wordt begrepen zijn direct waargenomen planeten ideale kandidaten om latere fases van planeetvorming te bestuderen.

Ondanks de technische uitdagingen die samengaan met deze vorm van detectie zijn er ongeveer vijftien planeten direct waargenomen, waaronder het meervoudige planetenstelsel HR 8799 (zie [Figure 7.2](#)). De detectie van deze jonge planeten begint het gat te dichten tussen planeten op grote afstanden van hun moederster (zoals reuzen and ijsreuzen in ons zonnestelsel) en hun koudere en in een later stadium levende zusterplaneten, die goed in kaart gebracht zijn door de radiële snelheids- en planeetovergangstechniek.

Dit proefschrift

De bevindingen in dit proefschrift zijn gebaseerd op waarnemingen gemaakt met de Very Large Telescope (VLT) in Chili. Ik begin met een onderzoek om het beeldverwerkingsalgoritme -dat gebruikt wordt om niet heldere planeten te detecteren- te optimaliseren. Dit geoptimaliseerde algoritme wordt vervolgens toegepast op verschillende datasets, inclusief twee grootschalige onderzoeken van sterren. Twee van de nieuwe ontdekkingen die uit dit onderzoek komen worden ook in detail

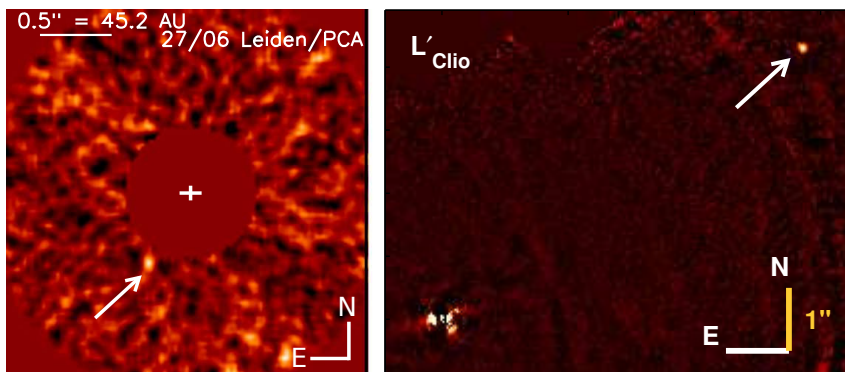
besproken.

In hoofdstuk 2 bespreken we de uitdagingen die samengaan met het detecteren van een zwakke planeet in de buurt van een heel heldere moederster. Door observaties in infrarood wordt het verschil in helderheid tussen de planeet en de ster geminimaliseerd. Ontwikkelingen in telescoopinstrumenten en beeldverwerkings-technieken hebben het mogelijk gemaakt om deze zwakke bronnen te detecteren. Een van deze ontwikkelingen is principale-componentenanalyse (PCA). Dit algoritme zorgt ervoor dat er zoveel mogelijk licht van de ster uit de afbeelding wordt gehaald zonder het licht van de planeet eruit te halen. We hebben onze eigen PCA code ontwikkeld en toegepast op de directe waarnemingen van het systeem Fomalhaut gemaakt met de VLT. We hebben meerdere tests gedaan en een methode gekozen die het signaal van de zwakke planeet in de buurt van de ster optimaliseert. We tonen aan dat onze PCA code gevoeliger is dan de eerdere analysemethodes.

In hoofdstuk 3 onderzoeken we waarom er zo weinig direct waargenomen planeten ontdekt zijn en wat voor type sterren we moeten observeren om deze planeten te vinden. Dit project, genaamd “Holey Debris Disks” was gevormd om te onderzoeken of de sleuven in de stoffige puinschijf rond de ster indicatoren zijn voor planeetvorming. Het stof ontstaat door botsingen tussen asteroïdes en kometen. De sleuven in de schijf zijn waarschijnlijk gevormd doordat de zwaartekracht van planeten, terwijl deze aan het vormen waren, een sleuf in de schijf hebben uitgesleut. We bespreken de analyse van zes sterren, waarvan de afbeeldingen gemaakt zijn met de VLT en met onze PCA code zijn bewerkt (zoals uitgelegd in hoofdstuk 2). We hebben een model gemaakt van het stof rond de sterren en we hebben de locaties van de gaten in de schijf en de planeten die nodig zijn om die gaten te maken geschat. Ons onderzoek bevat vijftien sterren die we met andere telescopen hebben geobserveerd. Twee planeten, genaamd HD 95086b en HD106906b (zie [Figure 7.3](#)), zijn ontdekt tijdens dit onderzoek. Aangezien er relatief weinig direct waargenomen planeten zijn doet de detectie van twee planeten in een kleine hoeveelheid sterren suggereren dat dit type sterren goede kandidaten zijn om andere planeten te vinden.

In hoofdstuk 4 bestuderen we afbeeldingen van de planeet rond HD 95086 gemaakt met de Gemini telescoop in een andere golfengte. In onze aanvullende waarnemingen detecteren we de planeet niet, ondanks dat onze data erg gevoelig is. Deze non-detectie in onze afbeeldingen leidt tot sterke restricties wat betreft de mogelijke massa van de planeet door de helderheid van de planeet te combineren op verschillende golfengtes. Gebaseerd op theoretische modellen kunnen we concluderen dat deze planeet waarschijnlijk rood, stoffig en bewolkt is.

In hoofdstuk 5 bespreken we de ontdekking van een nieuwe compagnon rond een ster, HD 984, met behulp van data van de VLT. We detecteren de compagnon weer in aanvullende afbeeldingen die een paar dagen later zijn genomen; dit versterkt de zaak dat dit een echte bron is. De massa's van direct afgebeelde compagnons worden normaal gesproken afgeleid uit theoretische modellen (zoals in hoofdstuk 4), deze zijn extreem gevoelig voor de leeftijd van de ster. De leeftijd van HD 984 is erg lastig te bepalen; het kan een hele jonge ster van 30 miljoen jaar zijn of een 2 miljard jaar oude ster. Gebaseerd op de extreme verschillen van de leeftijd and de theoretische modellen kan deze compagnon een bruine dwerg met een lage



Figuur 7.3 Links: Direct genomen afbeelding van planeet HD 95086b met 5 keer de massa van Jupiter en aangegeven met een witte pijl. Rechts: Direct genomen afbeelding van planeet HD 106906b (witte pijl), die 12 keer de massa van Jupiter heeft en 650 keer verder van zijn ster verwijderd is dan de Aarde van de Zon.

massa zijn -een bruine dwerg is een object met de massa tussen een planeet en een ster- of een ster met een lage massa. Om meer duidelijkheid te krijgen gebruiken we aanvullende data van een ander instrument van de VLT dat ons een spectrum geeft in plaats van een afbeelding. Met dit spectrum kunnen we de atmosfeer van de compagnon vergelijken met de atmosfeer van andere bruine dwergen en sterren met een lage massa. We concluderen dat de compagnon het beste past bij een ster met een lage massa, wat het belang versterkt van het gebruik van een spectrum om de massa van een compagnon te bepalen.

In hoofdstuk 6 bespreken we de resultaten van een onderzoek naar sterren met een hoge massa en gebruiken we de VLT om te zoeken naar planeten. In aanvulling op het zoeken naar nieuwe compagnons proberen we beperkingen te plaatsen op het aantal planeten rond dit type sterren. De frequentie van grote planeten wordt vaak geëxtrapolleerd van radiale snelheidsonderzoeken naar directe waarnemingen hoewel deze twee detectiemethodes misschien verschillende populaties planeten bestrijken. In dit onderzoek hebben we drie stellaire massa compagnons gevonden en één ster met een lage massa (zoals besproken in hoofdstuk 5). We hebben statistische simulaties toegepast om restricties te plaatsen op het bestaan van planeten rond deze sterren. Gebaseerd op de non-detectie van planeten kunnen we bepaalde frequentiemodellen met hoge zekerheid verwerpen.