

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/26290> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Maaskant, Koen Maarten

Title: Tracing the evolution of protoplanetary disks

Issue Date: 2014-06-23

Nederlandse samenvatting

De afgelopen decennia is er een revolutie in de sterrenkunde teweeg gebracht door de ontdekkingen van nieuwe planeten buiten ons zonnestelsel. Dit soort planeten noemen we ook wel exoplaneten; planeten net zoals onze eigen Aarde, Mars of Jupiter, alleen dan draaien ze rondom andere sterren. Exoplaneten staan op vele lichtjaren afstand. Dat betekent dat het licht (ondanks een snelheid van ongeveer 299 792 458 meter per seconde) er jaren over doet om ons te bereiken. Ze staan daarom te ver weg om er naar toe te reizen, met de snelste raketten zouden we tienduizenden jaren onderweg zijn. Gelukkig kunnen we de exoplaneten wel bestuderen met behulp van telescopen. Planeten vinden is niet gemakkelijk. Dat komt omdat het reflecterende licht erg zwak is ten opzichte van de ster. Desondanks bestaan er geavanceerde waarneem technieken die in staat zijn om exoplaneten alsnog te detecteren. Met indrukwekkende resultaten: momenteel zijn er al meer dan duizend exoplaneten gevonden¹. Voorspellingen gebaseerd op extrapolaties van de bestaande waarnemingen laten zien dat er waarschijnlijk miljarden exoplaneten in onze Melkweg zijn (Howard et al., 2010). Zelfs de samenstelling van atmosferen van exoplaneten wordt al onderzocht. Het nieuwe tijdperk van exoplanetaire wetenschap, dat door de talloze nieuwe ontdekkingen in een stroomversnelling is gekomen, roept dan ook talrijke nieuwe vragen op. Wat voor soort exoplaneten zien we? Zijn ze groot zoals Jupiter, of klein zoals Mercurius? Zijn er nog andere bewoonbare exoplaneten zoals de Aarde? Hoe ontstaan planeten? Het beantwoorden van deze grote vragen vergt geduld en vereist de gezamenlijke inspanning van vele wetenschappers die werkzaam zijn in verschillende disciplines, zoals sterrenkunde, maar ook natuurkunde, scheikunde en informatica. Er kan een belangrijke bijdrage worden geleverd in het onderzoek naar het ontstaan van planeten door de vroegste fase van de vorming van een planetenstelsel te bestuderen: de *protoplanetaire schijf*.

Ongeveer 4.57 miljard jaar geleden is de planeet Aarde gevormd uit een ronddraaiende protoplanetaire schijf. Hoe dat precies ging is moeilijk te achterhalen, omdat al het materiaal van de protoplanetaire schijf is samengeklonterd en gesmolten tot planeten en andere hemellichamen. Daarbij is veel ‘bewijs’ verloren gegaan dat ons iets kan vertellen over de geboorteplaats van het zonnestelsel. Gelukkig hebben telescopen wel andere protoplanetaire schijven gevonden rondom jonge sterren in de Melkweg. Zo kunnen we er toch indirect achterkomen hoe ons zonnestelsel moet zijn ontstaan. In dit proefschrift wordt het infrarood licht van gas en stof in zulke protoplanetaire schijven bestudeerd. Daarbij

¹NASA exoplaneet archief: <http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>

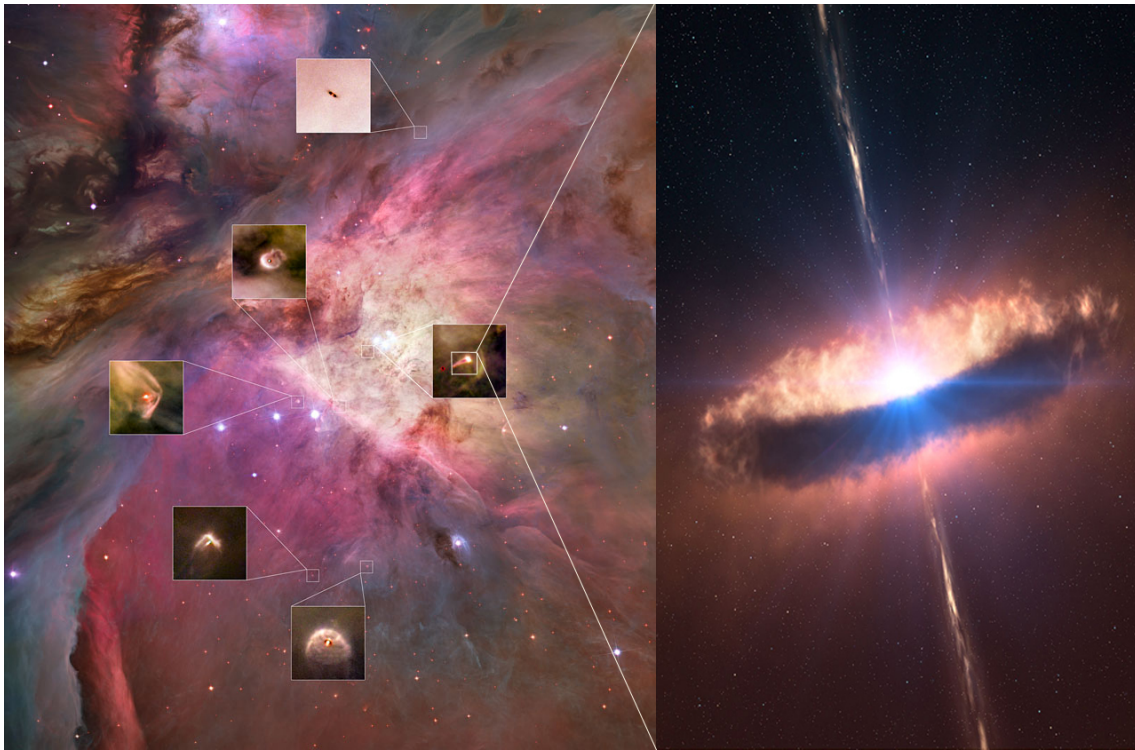


Figure 6.10: *Links:* Hubble telescoop waarneming van de Orion Nevel. In deze wolk van gas en stof worden honderden nieuwe sterren en planeten gevormd. Uitvergroot op dit plaatje zijn enkele ‘proplyds’ te zien. In ‘proplyds’ zitten protoplanetaire schijven waaruit sterren en planeten vormen. *Rechts:* Een grafische weergave van een protoplanetaire schijf rondom een jonge ster. In ongeveer 10 miljoen jaar evolueert de schijf, daarbij kan het materiaal samen klonteren en planeten vormen. Maar daarnaast kan het materiaal ook op de ster vallen of worden weggeblazen door jets, zoals te zien is aan de straalstroom loodrecht op de schijf.

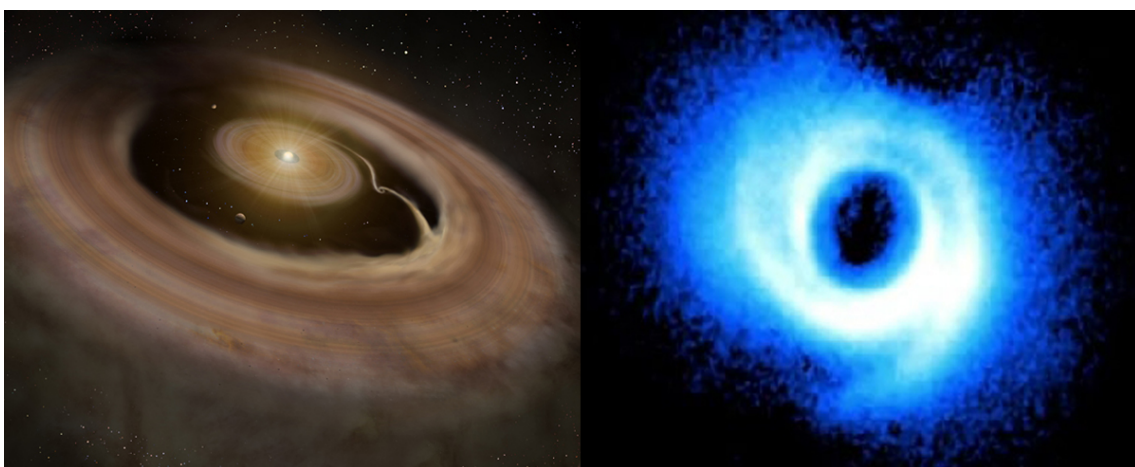


Figure 6.11: *Links:* Een grafische weergave van een transitionele schijf waarin planeten vormen. *Rechts:* Waarnemingen van de transitional schijf HD 135344 B die genomen zijn met het instrument HiCiAO op de Subaru telescoop in Hawaii (Muto et al., 2012).

komen vernieuwende technieken en inzichten naar voren waardoor we de evolutie van protoplanetaire schijven naar planetenstelsels beter in kaart kunnen brengen.

Jonge sterren en planeten worden geboren in wolken van gas en stof die ook wel ster-vormingsnevels worden genoemd (zie bijvoorbeeld de Orionnevel op Figuur 6.10 links). Door de zwaartekracht trekken gedeeltes van deze wolk in elkaar. Het meeste materiaal valt naar het midden en daar vormt zich dan een nieuwe ster. Maar een gedeelte van de wolk kan niet direct op de ster vallen omdat het materiaal een te hoge draaiingssnelheid om de ster heeft. Dit gedeelte slaat neer in een protoplanetaire schijf rondom de ster. In deze protoplanetaire schijf kunnen vervolgens nieuwe planeten vormen.

Een protoplanetaire schijf bestaat uit een verzameling van atomen, moleculen, microscopische zandkorreltjes, meteorieten, kometen (zie Figuur 6.10 rechts). Dit materiaal kan uiteindelijk uitgroeien tot planeten. De natuurkundige en chemische eigenschappen van het materiaal bepalen wat voor soort licht het uitstraalt. Als bijvoorbeeld de temperatuur hoog is, dan straalt het materiaal licht uit met een hogere frequentie (een ‘blauwere’ kleur), is het materiaal koud, dan straalt het licht uit met een lagere frequentie (en kleurt het ‘rood’). De dichtheid en samenstelling van het materiaal zijn andere essentiële eigenschappen die bepalen welk licht het uitzendt.

Het licht van protoplanetaire schijven kan worden waargenomen door gebruik te maken van telescopen. Deze telescopen maken waarnemingen waarbij de sterkte en de kleur van het licht heel nauwkeurig bepaald worden. Vervolgens wordt deze informatie geanalyseerd en vergeleken met modellen. Een model is een analytische ‘interpretatie’ van een protoplanetaire schijf. Met behulp van computers worden de natuurkundige en chemische eigenschappen van een protoplanetaire schijf gesimuleerd, daardoor kan worden uitgerekend hoe het licht er door een telescoop uit zou moeten zien. Als deze simulatie overeenkomt met de echte waarneming, dan is er bewijs geleverd dat het model (de ‘interpretatie’) van de protoplanetaire schijf, juist is. Deze methode beschrijft de kern van het werk dat in dit proefschrift wordt gepresenteerd.

In dit proefschrift is de evolutie van protoplanetaire schijven naar planetenstelsels op drie verschillende manieren onderzocht. Ten eerste is de geometrie van protoplanetaire schijven bestudeerd in de hoofdstukken 2, 3 en 4. Hierin is ontdekt dat een heleboel protoplanetaire schijven eigenlijk bestaan uit ringen met lege ruimtes daartussen. Deze lege ruimtes zouden ontstaan kunnen zijn doordat daar planeten zijn gevormd. Deze schijven worden ook wel transitionele schijven genoemd omdat ze in de overgang zijn naar planetenstelsels (zie figuur 6.11 voor een voorbeeld van een transitionele schijf).

Ten tweede is de ionisatie van polycyclische aromatische koolwaterstof (PAK) moleculen onderzocht. Een voorbeeld van een PAK is naftaleen ($C_{10}H_8$). Op Aarde zijn PAKs ook wel bekend als uitlaatgassen en zijn dus schadelijk voor de gezondheid en het milieu. PAKs zijn belangrijke bouwstenen van protoplanetaire schijven. Ze hebben door efficiënte absorptie van ultraviolet straling een groot effect op de energie balans in de schijf. Daarnaast kunnen PAKs, door verschillende chemische reacties, naar complexere organische moleculen worden getransformeerd. Het is daarom mogelijk dat PAKs de eerste stap vertegenwoordigen op weg naar aminozuren en nucleotiden, de grondstoffen van eiwitten en DNA. In hoofdstuk 5 is beschreven hoe de kleur van het licht van een PAKs

molecuul verandert in de omgeving waar een planeet ontstaat. Dat is erg handig aangezien de planeet zelf te klein is om te detecteren. In plaats daarvan kan het licht van de PAKs worden gebruikt om de planeetvorming te traceren.

Ten slotte wordt in hoofdstuk 6 besproken waar microscopische forsteriet deeltjes zich in de schijven bevinden. Forsteriet (Mg_2SiO_4) is een gekristalliseerde silicaat en is een belangrijk mineraal in de sterrenkunde. Silicaten vormen ook een belangrijk deel van het materiaal waaruit de Aarde is opgebouwd. Forsteriet vormt een onderdeel van de mineraalgroep olivijnen. Het groene zand van de Papakolea strand op Hawaï bestaat uit olivijnen kristallen die zijn geërodeerd uit lavastenen. Ook kometen en meteorieten bestaan grotendeels uit silicaten. In dit onderzoek zijn de chemische samenstellingen en de locaties van het forsteriet in protoplanetaire schijven onderzocht. Hieruit is onder andere naar voren gekomen dat de forsteriet deeltjes groter worden naar mate de schijf verder evolueert. Dit is belangrijk aangezien dit de eerste stap kan zijn van de groei van microscopische zandkorrels naar planeten.

Het onderzoek naar protoplanetaire schijven boekt snel vooruitgang. Het verband tussen protoplanetaire schijven en het ontstaan van de aarde wordt steeds beter begrepen. Wellicht komen we er snel achter of er ook exoplaneten zijn waarop leven mogelijk is. Ieder jaar worden er vele onderzoeken gepubliceerd die, net zoals dit proefschrift, kunnen bijdragen aan de kennis over de evolutie en het ontstaan van exoplaneten in protoplanetaire schijven. Met geavanceerde telescopen en de uitstekende samenwerking tussen wetenschappers over de hele wereld, ziet ook de toekomst er veelbelovend uit.