



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Exploring strange new worlds with high-dispersion spectroscopy

Serindag, D.B.

Citation

Serindag, D. B. (2022, October 6). *Exploring strange new worlds with high-dispersion spectroscopy*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3466049>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3466049>

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

Samenvatting

Door de geschiedenis heen is de mensheid gefascineerd geweest door het heelal. We hebben voortdurend geprobeerd ons begrip van de vele wonderen van het heelal en hoe wij daar binnen passen uit te breiden. Het is misschien niet verwonderlijk dat het bestaan van werelden buiten de aarde al millennia lang een terugkerend onderwerp is in de filosofie en science fiction. Pas zo'n dertig jaar geleden echter kwamen buitenaardse werelden volledig in het domein van de wetenschap met de ontdekking in 1995 van een planeet die rond een andere ster dan de zon draaide. In de decennia daarna is er veel vooruitgang geboekt om deze zogenaamde exoplaneten beter te begrijpen. Bij de publicatie van dit proefschrift zijn er ongeveer 5000 planeten buiten het zonnestelsel bekend, en men denkt dat er minstens evenveel planeten als sterren in ons melkwegstelsel zijn. Zo'n overvloed brengt de opwindende mogelijkheid met zich mee om deze vreemde nieuwe werelden te verkennen en vragen te beantwoorden zoals *Welke soorten planeten bestaan er buiten het zonnestelsel? Waarvan zijn deze planeten gemaakt? Hoe zijn ze ontstaan?* en *Is er leven buiten de Aarde?*

De methoden die worden gebruikt om exoplaneten op te sporen, leveren vaak zeer elementaire informatie op over hun kenmerken, zoals de fysieke grootte en massa — de hoeveelheid materiaal waaruit ze bestaan. Met deze informatie is het mogelijk te bepalen wat voor dichtheid een bepaalde exoplaneet heeft, en is dus af te leiden of hij voornamelijk uit rots, ijs, of gas bestaat. Op deze manier is het mogelijk te weten te komen wat voor exoplaneten in ons Melkwegstelsel voorkomen. Maar om planeten buiten ons zonnestelsel beter te begrijpen, moeten hun atmosferen uitgebreid worden bestudeerd. Pas dan is het echt mogelijk om de eerder genoemde fundamentele vragen van de exoplaneetwetenschap te beantwoorden.

Om de atmosferen van exoplaneten te bestuderen, is het gebruikelijk spectroscopische waarnemingen te doen — dat wil zeggen, deze objecten waar te nemen met verschillende kleuren (golflengten) licht. In het resulterende spectrum

van de atmosfeer van een planeet is een schat aan informatie over zijn chemische samenstelling gecodeerd. Verschillende chemische stoffen hebben unieke spectrale vingerafdrukken waardoor zij licht van verschillende kleuren op een unieke manier absorberen en uitstralen. Dankzij deze unieke patronen kunnen verschillende chemische stoffen van elkaar worden onderscheiden. Hun aan- of afwezigheid in het spectrum van een exoplanetaire atmosfeer vertelt iets over de chemische samenstelling van deze objecten, ondanks dat ze triljoenen kilometers van de aarde verwijderd zijn. Het gebruik van instrumenten met een hoge dispersie die de verschillende golflengten van het licht beter van elkaar onderscheiden, maakt een robuustere analyse van atmosferen mogelijk. De hoofdstukken 2–5 van dit proefschrift stellen vier onderzoeksprojecten voor die exoplaneetatmosferen bestuderen bij hoge dispersie.

Hoofdstuk 2 beschrijft een studie om de chemische samenstelling van enkele van de meest extreme exoplaneten te begrijpen. Hete Jupiters zijn gasreuzenplaneten die op zeer korte afstand om hun ster draaien. Een “jaar” op zulke planeten duurt maar een paar dagen. Ter vergelijking: Mercurius — de planeet in het zonnestelsel die het dichtst bij de zon staat — draait in ongeveer 90 dagen rond de zon. Toen deze extreme exoplaneten in de jaren negentig werden ontdekt, begon men meer inzicht te krijgen in de aard van hun atmosferen, en in het bijzonder in het effect van het ontvangen van zo’n intense hoeveelheid sterlicht. Er werd voorspeld dat deze exoplaneten zo dicht bij hun sterren draaien, en dat hun atmosferen dus zo heet zijn, dat het molecuul titaniumoxide (TiO), dat bestaat uit één atoom titaan en één atoom zuurstof, als gas hoog in de atmosfeer van deze werelden zou moeten bestaan. Onderzoeken om deze theorie te testen zijn er echter grotendeels niet in geslaagd ondubbelzinnig bewijs te leveren voor het bestaan van TiO-gas op deze hete, dicht bij elkaar staande gasreuzenplaneten. Het werk dat in dit hoofdstuk wordt gepresenteerd, probeerde een baanbrekende detectie van TiO in een bepaalde planeet, WASP-33b genaamd, te reproduceren. Destijds was dit de enige ondubbelzinnige ontdekking van het molecuul op zo’n planeet. Maar ondanks het gebruik van dezelfde waarnemingen en een betere “vingerafdruk” voor deze chemische stof, konden we de aanwezigheid ervan op WASP-33b niet bevestigen. Zoals besproken in hoofdstuk 2, dient deze conclusie als een waarschuwing voor de technieken die we gebruiken om exoplaneetatmosferen bij hoge dispersie te bestuderen, en verzwakt ze de ooit baanbrekende detectie van TiO in deze specifieke planeet. De dubbelzinnigheid rond de aanwezigheid van TiO in deze hete exoplaneetatmosferen blijft bestaan.

Hoofdstuk 3 onderzocht of het mogelijk is om de verschillende isotopen van titaan op grote gasvormige exoplaneten te bestuderen. Isotopen zijn verschil-

lende varianten van een bepaald chemisch element, en gedragen zich enigszins verschillend van elkaar. Het meten van de relatieve hoeveelheid van elke isotoop van een chemische stof kan informatie verschaffen over een object. Zo heeft de studie van titaanisotopen in sterren informatie opgeleverd over de evolutie van ons Melkwegstelsel, terwijl soortgelijke studies in het zonnestelsel zijn gebruikt om de vorming ervan te bestuderen. In de toekomst kunnen dergelijke analyses een soortgelijk inzicht verschaffen in de vorming van exoplaneten. Wij zijn eerst nagegaan of de analysetechnieken die gewoonlijk worden gebruikt om exoplaneet atmosferen te bestuderen nauwkeurige metingen van titaanisotopen opleveren. We hebben dit gedaan door deze exoplaneetspecifieke technieken toe te passen op waarnemingen van een ster, waarvan bekend is dat deze TiO in zijn atmosfeer heeft, samengesteld uit de verschillende isotopen van titaan. Door onze resultaten te vergelijken met die van eerdere studies van soortgelijke sterren, concluderen we dat de methoden die gebruikt worden om exoplaneten te bestuderen geen significante invloed zouden moeten hebben op wat we meten voor de hoeveelheden titaanisotopen. Met deze zekerheid hebben we bepaald hoeveel waarneemtijd op huidige en toekomstige telescopen nodig is om zo'n studie op een zwakkere exoplaneet uit te voeren. Het is opwindend dat het bestuderen van titaanisotopen bij grote, wijd omcirkelende gasreuzenplaneten zeer goed mogelijk is met de huidige en toekomstige observatoria.

In hoofdstuk 4 wordt een poging gedaan om jonge, zich nog vormende planeten op te sporen, in een poging om beter te begrijpen hoe dit proces in zijn werk gaat. Jonge sterren worden omringd door zogenaamde protoplanetaire schijven, bestaande uit gas en stof, waarin zich vermoedelijk planeten vormen. Structuren zoals ringen, gaten tussen ringen en spiralen zijn vaak te zien in deze protoplanetaire schijven, en worden vermoedelijk veroorzaakt door jonge, mogelijk nog vormende, planeten. Het bestuderen van de atmosferen van ontluikende planeten is de meest eenvoudige manier om het proces van planeetvorming te begrijpen, in plaats van achteraf te proberen de geschiedenis van een exoplaneet af te leiden. Zulke jonge objecten worden echter zelden gevonden. Onlangs werd een studie gepubliceerd over het jonge sterrenstelsel HD 169142, waarin werd gesuggereerd dat een jonge planeet aanwezig zou kunnen zijn en de ringen en spiraalstructuren zou kunnen veroorzaken die in de protoplanetaire schijf van dat systeem zijn waargenomen. Wij hebben in verschillende waarnemingen van dit systeem gezocht naar bewijzen voor de atmosfeer van deze jonge planeet, maar konden die niet vinden. We hebben vastgesteld dat de gegevens die we voor deze analyse hebben gebruikt in feite niet gevoelig genoeg zijn om de voorgestelde planeet te detecteren, en dat er dus meer waarnemingen nodig zijn om zijn aanwezigheid te bevestigen of te ontkennen.

Hoofdstuk 5 sluit dit proefschrift af met een toekomstgericht project waarin het vermogen van grote toekomstige telescopen om moleculaire zuurstof (O_2) bij aardachtige exoplaneten te detecteren wordt geëvalueerd. Net als op Aarde wordt verwacht dat O_2 de aanwezigheid van leven op rotsachtige exoplaneten kan aantonen. Er zitten natuurlijk haken en ogen aan deze relatief eenvoudige relatie en er moet aan nog veel meer criteria worden voldaan voordat we kunnen zeggen dat de aanwezigheid van zuurstof in de toekomst wijst op de aanwezigheid van buitenaards leven. Desalniettemin wordt het zoeken naar dergelijke biosignaturen — chemische stoffen die geassocieerd worden met leven op aarde — in de atmosferen van andere werelden gezien als de meest redelijke weg voorwaarts in de zoektocht naar leven buiten het zonnestelsel. Ons werk bouwt voort op eerdere studies die de haalbaarheid onderzochten van het gebruik van de aankomende grotere en krachtigere “extreem grote telescopen” om te zoeken naar O_2 in rotsachtige exoplaneten die vergelijkbaar zijn met de Aarde. Wij hebben ons onderzoek zo uitgevoerd dat het een realistischer beeld geeft van toekomstige zoektochten naar O_2 op aardachtige planeten. We stellen vast dat deze meer accurate simulaties zeer gelijkaardige voorspellingen geven voor hoe moeilijk het zal zijn om O_2 te detecteren, en dat het zelfs met deze nieuwere en krachtigere telescopen meerdere jaren zal duren om de nodige waarnemingen voor één enkele exoplaneet te verzamelen.