



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Stars and planets at high spatial and spectral resolution

Albrecht, S.

Citation

Albrecht, S. (2008, December 17). *Stars and planets at high spatial and spectral resolution*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/13359>

Version: Corrected 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/1887/13359>

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

Nederlandse samenvatting

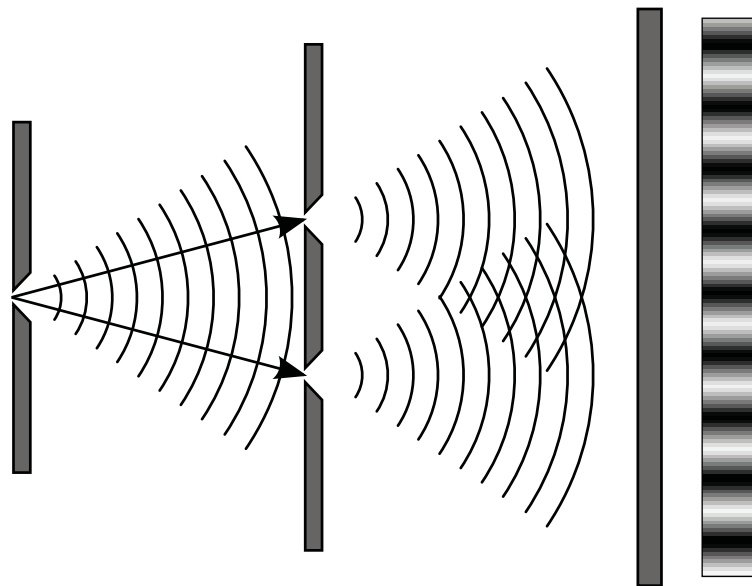
De titel van dit proefschrift luidt: Stars and planets at high spatial and spectral resolution, oftewel: Sterren en planeten bij hoge ruimtelijke en spectrale resolutie. Ruimtelijke resolutie is hoe precies je kunt bepalen waar een lichtdeeltje vandaan komt. Hoe lager je ruimtelijke resolutie, hoe verder twee objecten van elkaar verwijderd moeten zijn om van elkaar onderscheiden te kunnen worden. Spectrale resolutie is het aantal kleurnuances dat je kunt onderscheiden. We zien licht van verschillende golflengtes als verschillende kleuren. Dus hoe nauwkeuriger je de golflengte kunt meten, hoe hoger je spectrale resolutie.

Sterren zie je, ook door de telescoop, meestal als een punt. Als je een lichtdeeltje opvangt, weet je niet van welk deel van de ster het komt. Je hebt dus eigenlijk maar één pixel. Hoge ruimtelijke resolutie betekent hier dus: meer dan één pixel. Met een hele grote telescoop zou je sterren die niet al te ver weg staan als een schijfje kunnen zien, zoals je ook de planeten in ons zonnestelsel door een telescoop als een schijfje ziet. Maar zulke grote telescopen zijn er voorlopig niet.

Er zijn verschillende manieren om toch ruimtelijke informatie over een ster of sterrestelsel te verkrijgen. Je kunt bijvoorbeeld met twee of meer telescopen op hetzelfde moment naar dezelfde ster kijken. Je kunt soms ook uit andere eigenschappen van het licht dat je opvangt en veranderingen daarin in de tijd ruimtelijke informatie afleiden en een model maken van het object dat je bestudeert. Dat sterrekundigen nog zo veel te weten kunnen komen over die kleine lichtpuntjes in de verte komt doordat in het heelal alles beweegt.

Met spectrale resolutie is het in de sterrekunde beter gesteld. Als je wit licht door een prisma laat vallen worden de verschillende golflengten gescheiden en zie je de kleuren van de regenboog netjes naast elkaar. Veel telescopen hebben een instrument met een prisma. Zo'n instrument heet een spectrograaf. In plaats van zelf door de telescoop te kijken gebruiken sterrekundigen tegenwoordig instrumenten die metingen doen aan het licht dat wordt opgevangen. Als je een spectrograaf gebruikt worden lichtdeeltjes van verschillende golflengtes op verschillende plaatsen opgevangen en geteld. Je weet dan wat de samenstelling van het licht was, welke golflengtes er meer in voorkwamen en welke minder. Mensen kunnen kleuren zien tussen rood (lange golflengte, lage energie) en blauw/violet (korte golflengte, hoge energie). Instrumenten kunnen een groter bereik hebben.

Het tweede hoofdstuk in dit boek beschrijft hoe hoge ruimtelijke en spectrale resolutie gecombineerd kunnen worden in één complex instrument. Hiervoor wordt een bestaande spectrograaf gecombineerd met een bestaande interferometer. Een interferometer is een cluster van twee (of soms meer) telescopen die samen worden gebruikt alsof ze deel uitmaakten van een veel grotere telescoop. Je doet dan net of je een hele grote telescoop hebt die bedekt wordt door een doek met twee gaatjes erin. Die twee gaatjes zijn de twee gezamenlijk opererende telescopen. Het licht dat wordt opgevangen door de twee telescopen wordt op een handige manier gecombineerd. Daardoor ontstaat een interferentiepatroon. Aan dat patroon kun je bijvoorbeeld zien hoe groot de lichtbron is. De figuren 7.1 en 7.2 illustreren dit. In figuur 7.2 is de lichtbron een punt en in figuur 7.2 is de lichtbron groter. Hoe kleiner het contrast tussen licht en donker is



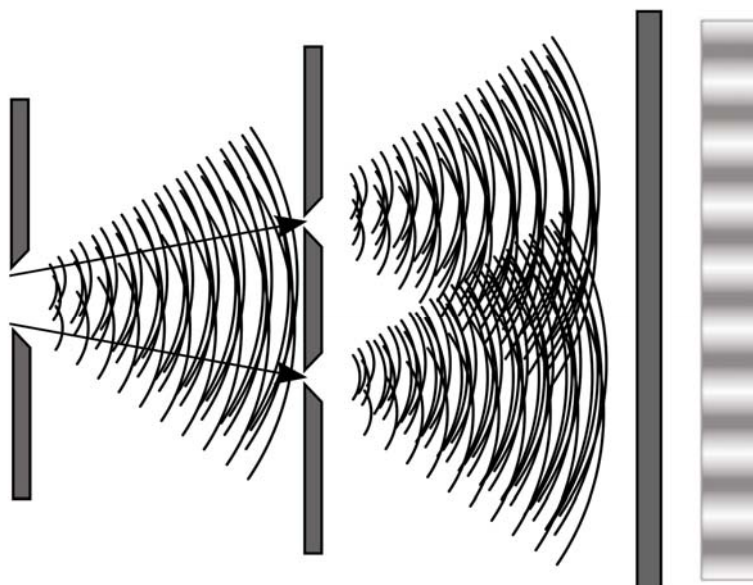
Figuur 7.1 — Schematische voorstelling van een puntvormige lichtbron waargenomen door een interferometer. Er is een scherp contrast tussen licht en donker in the interferentiepatroon dat ontstaat.

in het interferentiepatroon dat ontstaat, hoe groter de lichtbron. Wanneer je zo'n interferometer combineert met een spectrograaf kun je dit voor verschillende golflengtes doen en bijvoorbeeld ontdekken dat een object in de ene golflengte groter lijkt dan in de andere. Zo kun je iets te weten komen over de samenstelling van het object. Het voorstel is om de VLT (Very Large Telescope) interferometer te combineren met een zeer goede spectrograaf die zich op hetzelfde terrein bevindt en nu alleen maar met één telescoop tegelijk gebruikt kan worden. Normaalgesproken worden instrumenten die voor de interferometer zijn ontworpen in de interferometer ingebouwd. Dit ontwerp laat zien dat het ook anders kan, waardoor de dure spectrograaf op twee verschillende manieren kan worden ingezet.

Het voorgestelde instrument, UVES-I, is nog niet gebouwd. De overige hoofdstukken in dit proefschrift gaan over zaken die desondanks nu al mogelijk zijn op gebieden waar de inzet van UVES-I in de toekomst een grote bijdrage zal kunnen leveren.

Hoofdstuk 3 gaat over een jong stellair object. Voor zover we weten vormen sterren uit een wolk van gas en stof onder de invloed van zwaartekracht. Dit object is een jonge ster met een schijf eromheen waaruit mogelijk planeten zullen ontstaan. Het object is geobserveerd met een interferometer met een redelijke spectrograaf, in het infra-rood. Door in het infra-rood naar een object te kijken kun je zien hoeveel warmte het uitstraalt. De observaties bevestigen modellen waarin de schijf bestaat uit een warm deel aan de binnenkant en een kouder deel aan de buitenkant.

De hoofdstukken 4 en 5 gaan over twee dubbelstersystemen. Een dubbelstersysteem is een systeem dat bestaat uit twee sterren die ieder in een eigen elliptische baan om elkaar heen draaien (of eigenlijk om het gezamenlijke zwaartepunt). Dubbelstersystemen komen veel voor en kunnen ook planeten hebben. Het is zelfs zo dat de meeste sterren in het heelal deel uitmaken

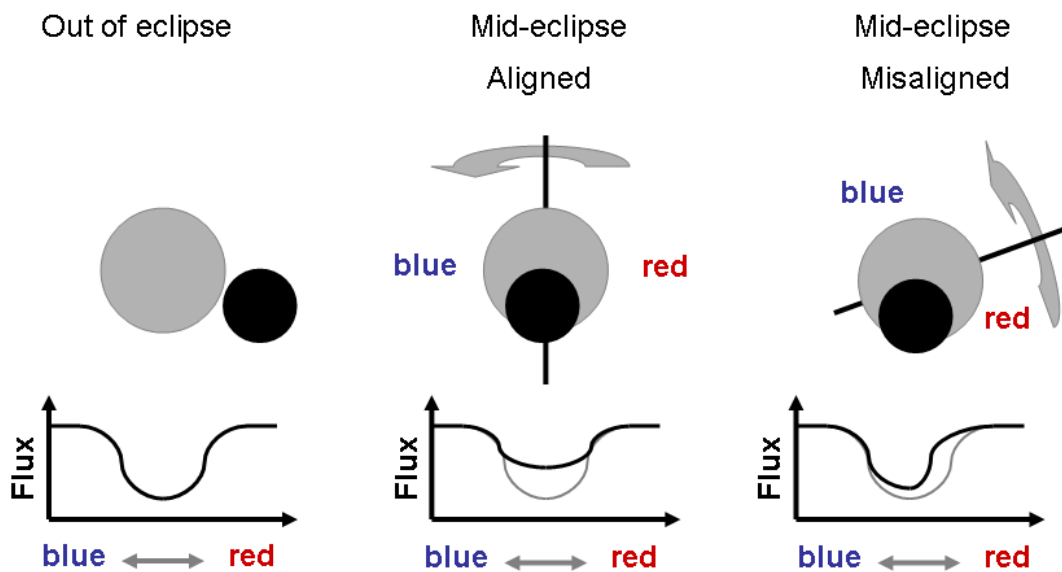


Figuur 7.2 — Schematische voorstelling van een iets grotere lichtbron dan in figuur 7.1, eveneens waargenomen door een interferometer. Het contrast is nu vager.

van een dubbelstersysteem. Sterren draaien ook altijd om hun eigen as (onze zon doet dit bijvoorbeeld met 5 km/s). In dit onderzoek is gekeken wat de hoek is tussen die as en de baan van de ster en of dit voor beide sterren hetzelfde is. Dit is belangrijk om te begrijpen hoe dubbelstersystemen gevormd worden. Voor het systeem in het sterrenbeeld zwaan is gevonden dat beide assen parallel zijn. Voor het systeem in het sterrenbeeld Hercules bleek dit niet het geval.

Dit laatste is een onverwacht resultaat. Er wordt meestal aangenomen dat de assen van een systeem waar de sterren zo dicht bij elkaar staan wel parallel zullen zijn. Het lost echter ook een probleem op waaraan astronomen al 20 jaar werken: een bepaald aspect van de baan van dit systeem, dat apsidal motion genoemd wordt, gedraagt zich niet zo als men berekend had. Een ster in een dubbelstersysteem beweegt in een elliptische baan. Die elliptische baan zelf draait ook nog eens een keer rond. De as voor deze draaiing gaat door het zwaartepunt, oftewel een van de brandpunten van de ellips. Deze beweging heet apsidal motion en wordt veroorzaakt door een verschijnsel dat we kennen als getijdenwerking. Bij DI Herculis bleek de baan langzamer te draaien dan verwacht. Er zijn in de loop der jaren verschillende voorstellen gedaan om dit te verklaren, onder andere een herziening van de relativiteitstheorie. Nu we weten dat de rotatie-assen van de sterren, in tegenstelling tot wat werd aangenomen, niet parallel zijn, is het geobserveerde gedrag precies wat we op grond van de bestaande theorie verwachten en is het probleem verdwenen.

Hoe kan men de assen van sterren meten zonder een instrument zoals in hoofdstuk twee besproken is ter beschikking te hebben? De orientatie van de draaiingsas van de twee sterren kon worden bepaald omdat ze elkaar vanaf de aarde gezien regelmatig verduisteren (de ene ster beweegt dan voor de andere langs) en omdat het Doppler effect ook van toepassing is op licht.



Figuur 7.3 — Schematische voorstelling van het Rossiter-McLaughlin effect. Vanwege het draaien van de ster is een geobserveerde absorptielijn verbreed (links). Een gedeeltelijke verduistering door een object op de voorgrond vervormt de absorptielijn anders als de as een rechte hoek maakt (midden) dan als hij geen rechte hoek maakt (rechts) met het vlak van de baan waarin de sterren zich bewegen.

Een sterverduistering in een verduisterend dubbelstersysteem lijkt op een zonsverduistering bij ons. Maar in plaats van dat de maan tussen ons en onze zon door beweegt, beweegt de ene ster tussen ons en de andere ster door. Het Doppler effect treedt op als een bewegende bron golven uitzendt. Die golven kunnen geluidsgolven zijn, zoals bij een ambulance die voorbij rijdt, maar ook lichtgolven, zoals bij een draaiende ster. Omdat een ster om z'n eigen as draait is er altijd een deel van de ster dat naar ons toe beweegt en een deel dat van ons af beweegt. Als een lichtbron naar je toe beweegt worden de lichtgolven een beetje in elkaar gedrukt waardoor alle golflengten iets korter lijken dan ze eigenlijk zijn. Dit noemen we blauw-verschoven. Als een lichtbron van je af beweegt worden alle golflengtes juist een beetje uitgerekt, waardoor ze langer lijken dan ze eigenlijk zijn. Dit noemen we rood-verschoven. Als je de hele ster kunt zien, zie je evenveel rood-verschoven licht als blauw-verschoven licht.

Als nu, bijvoorbeeld, aan het begin van een verduistering het deel van de ster dat naar ons toe beweegt grotendeels door de andere ster van het dubbelstersysteem bedekt wordt, dan ontvangen we vooral rood-verschoven licht (dus van het onbedekte deel). Als dan later het andere deel bedekt wordt, ontvangen we vooral blauw-verschoven licht. Dit is wat we waarnemen als de rotatie-as van de ster een loodrechte hoek maakt met het vlak van de baan van de ster. (Dit komt overeen met het middelste plaatje van figuur 7.3.) Als de as juist in het vlak van de baan ligt, worden de delen die rood-verschoven en blauw-verschoven licht uitzenden steeds in gelijke mate bedekt gedurende de verduistering. De verandering in de verhouding tussen rood- en blauw-verschoven licht in de loop van de verduistering is dus afhankelijk van de stand van de as. Door de verschuivingen te meten, kan men dus berekenen hoe de as van de ster staat ten opzichte van zijn baan. De verschuivingen kunnen gemeten worden doordat het spectrum van licht dat een ster uitzendt herkenbare absorptielijnen bevat. Het effect dat je ziet door deze

verschuivingen heet het Rossiter-McLaughlin effect en wordt geïllustreerd in figuur 7.3.

In hoofdstuk zes wordt een exo-planeet bestudeerd. Dit is een planeet die niet om onze zon draait maar om een andere ster en dus deel uit maakt van een ander sterrestelsel dan het zonnestelsel. Er zijn de laatste paar jaar steeds meer exo-planeten ontdekt, de eerste in 1995. Ook bij het ontdekken en bestuderen van exo-planeten wordt dankbaar gebruik gemaakt van verduisteringen en ook van het Doppler effect.

De planeet die hier bestudeerd is heeft de prachtige naam HD209458b en is een grote gasplaneet, een beetje zoals Jupiter, maar dan veel dichterbij z'n ster, zelfs dichterbij dan Mercurius bij de zon. In dit onderzoek is gekeken naar de 'atmosfeer' van deze planeet. Bij een planeet als deze, die mogelijk geheel uit gas bestaat is het binnenste gedeelte te dicht om licht door te laten. Alleen het buitenste laagje van deze bol gas is doorzichtig, en dit beschouwen we dus als de atmosfeer. Het licht van de ster waar deze planeet omheen draait, net als onze zon, bevat licht van een heleboel verschillende golflengten. Als zulk licht door een gas reist, absorberen de gasdeeltjes heel specifieke golflengten. Elk element van het periodiek systeem heeft, als gas, z'n eigen herkenbare absorptiepatroon. Als de planeet voor de ster staat, komt een gedeelte van het licht van de ster dus door de atmosfeer van de planeet voordat het onze telescoop bereikt. Als je dan met behulp van een gevoelige spectrograaf kijkt welke golflengten er nu ineens duidelijk minder in zitten dan toen de planeet er niet voor stond kun je erachter komen uit welke gassen de atmosfeer van de planeet bestaat.

In dit onderzoek is gevonden dat de atmosfeer van HD209458b natrium bevat. Naar kalium is ook gezocht, maar dit blijkt er niet te zijn, of in ieder geval niet in voldoende mate om met de huidige middelen te kunnen meten. Het valt namelijk nog niet mee om dit te meten, want het effect is klein en er zijn allerlei andere factoren die het spectrum beïnvloeden. De atmosfeer van de aarde, waar het licht natuurlijk ook doorheen moet als de telescoop op aarde staat, absorbeert bijvoorbeeld ook allerlei golflengten.

Er valt dus ook met beperkte ruimtelijke resolutie al heel wat te meten en te ontdekken. Wel zou het UVES-I instrument op al deze gebieden meer mogelijkheden bieden. Bijvoorbeeld zou je daarmee ook de stand van de assen kunnen meten bij dubbelstersystemen die elkaar vanaf de aarde gezien niet verduisteren.

Vervolgonderzoek zal zich vooral concentreren op het meten van draaiingsassen in meer dubbelstersystemen en in ster-planeet systemen en de consequenties van de gevonden resultaten op de theorie over de vorming van sterrestelsels.

