



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## **Developing asymmetries in AGB stars : occurrence, morphology and polarization of circumstellar Masers**

Amiri, N.

### **Citation**

Amiri, N. (2011, October 26). *Developing asymmetries in AGB stars : occurrence, morphology and polarization of circumstellar Masers*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/17981>

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/1887/17981>

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

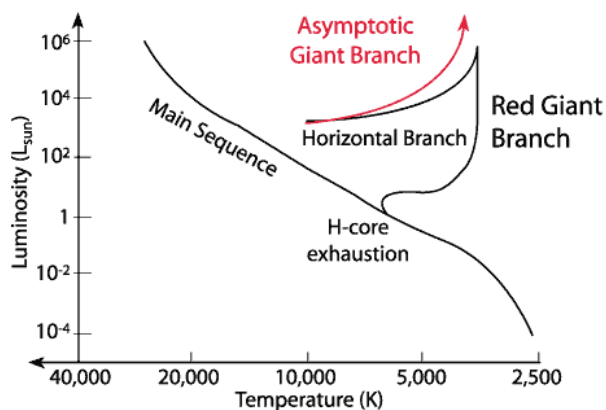
# Nederlandse Samenvatting

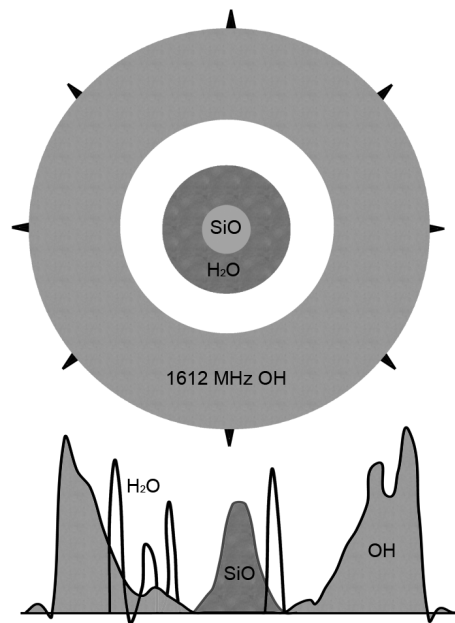
## De asymptotische reuzentak

Sterren zoals onze zon brengen het grootste deel van hun leven door op de hoofdreeks (of main sequence, zie afbeelding 1). Tijdens dit stadium wordt waterstof omgezet in helium door nucleaire verbranding. Zodra de waterstofvoorraad van de kern is uitgeput ondergaan sterren verschillende verdere evolutionaire stadia. De laatste fase van de evolutie wordt de AGB fase genoemd. De ster bevindt zich dan op de Asymptotic Giant Branch, of asymptotische reuzentak. In deze fase heeft de ster een kern van koolstof en zuurstof omringt door twee lagen van waterstof en helium waar nog steeds kernfusie plaatsvindt. Meer dan 90% van alle sterren, inclusief onze zon, zullen een dergelijke AGB fase meemaken. Deze sterren stralen dan 3000 keer meer energie uit dan de zon.

Gedurende de AGB fase verliezen sterren een significante hoeveelheid van hun massa aan het interstellair medium in de vorm van stellaire winden. Deze uitstroom van materie vormt een mantel rondom de AGB ster: de circumstellair schil ("circumstellair envelope", CSE, zie Figuur 2). De CSEs bevatten verscheidene moleculen en in het bijzonder moleculen die maser straling produceren op verschillende frequenties in het radiogebied.

**Figuur 1** – het Hertzsprung-Russell Diagram. De lijnen in het diagram laten zien hoe de evolutie van een ster verloopt als functie van temperatuur en lichtkracht.





**Figuur 2** – Een schematische voorstelling van de CSE van een typische zuurstofrijke AGB ster. SiO masers ontstaan dicht bij de fotosfeer. H<sub>2</sub>O masers ontstaan op tussenliggende afstanden. De 1612 MHz OH masers opereren in het buitenste gedeelte van de CSE. Afwijkingen van sferische symmetrie ontstaan waarschijnlijk in de late AGB of de vroege post-AGB fase

## Planetaire nevels

Als de nucleaire verbranding in de omringende lagen van waterstof en helium stopt, verandert de centrale AGB ster in een hete witte dwerg. De overgebleven CSE, eerder uitgestoten tijdens de AGB fase, wordt dan een planetaire nevel (PN). De meerderheid van de waargenomen PNs vertonen een verscheidenheid van complexe morfologieën, waaronder elliptische en bipolaire structuren. De non-sferische vormen van PNs kunnen erop wijzen dat de afwijking van sferische symmetrie ontstaat tijdens de overgang van de AGB fase naar de PN fase, de zogenoemde proto-planetaire fase. Om de waargenomen complexe morfologieën van PNs te begrijpen is het dus essentieel om asymmetrieën te bestuderen tijdens de eerdere fases van de CSEs rond AGB sterren. Gecollimeerde uitstromen, of straalstromen, die actief zijn tijdens het vroege proto-PN stadium, zijn voorgesteld als mogelijke oorzaak voor de vorming van bipolaire PNs. Theoretische modellen laten zien dat magnetische velden een belangrijke rol kunnen spelen in het collimeren van de uitstroom. Anderzijds kunnen snelle, gecollimeerde uitstromen worden veroorzaakt doordat de ster zich in een dubbelstersysteem bevindt.

## Wat is een maser?

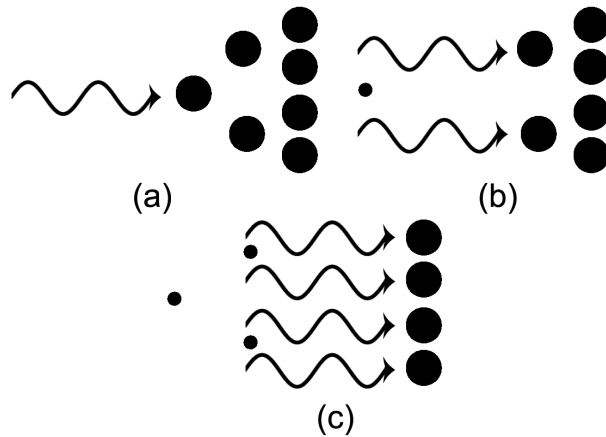
Maser staat voor "microwave amplification by stimulated emission of radiation". Dit betekent vrij vertaald: microgolf versterking door gestimuleerde emissie van straling. Een laser is het equivalent van een maser, maar dan voor hogere frequenties in het ultraviolet of het zichtbare gedeelte van het electromagnetisch spectrum. Het natuurkundige mechanisme voor maseremissie is gestimuleerde emissie. Dit is als eerste geïntroduceerd door Einstein in 1917. Figuur 3 illustreert het principe van maseremissie op een schematische wijze. Masers komen van nature in de ruimte voor en verschillende moleculaire soorten kunnen maseremissie vertonen. Dit impliceert dat er gebieden in de ruimte zijn waar de omstandigheden zodanig zijn dat afwijkingen van lokaal thermisch evenwicht (LTE) stelselmatig voorkomen.

In de CSEs van AGB sterren zijn er drie soorten masers die regelmatig voorkomen: SiO, H<sub>2</sub>O en OH masers. Figuur 2 laat zien dat de OH masers ontstaan in het buitenste gedeelte van zuurstofrijke CSEs, in een gebied waar fotodissociatie van H<sub>2</sub>O moleculen OH produceert. H<sub>2</sub>O masers komen voor op tussenliggende afstanden, in een schil die een significante radiële versnelling ondervindt. SiO masers komen voor in een gebied tussen de stellaire fotosfeer en de zones waar stof wordt gemaakt. Masers zijn dus uitstekende middelen om de gasstromen dichtbij de ster te bestuderen.

Astronomische masers kunnen worden waargenomen met een hoge hoekresolutie door middel van radiointerferometrie. Bij deze techniek worden radiogolven met twee of meer radiotelescopieën opgevangen die zich op een bepaalde afstand van elkaar af bevinden. De resolutie van een interferometer wordt bepaald door de afstanden tussen de radiotelescopieën. Om een afbeelding van goede kwaliteit te krijgen moeten er een groot aantal afstanden tussen zoveel mogelijk verschillende telescopen zijn.

## Proto-PN masers

Er is een klasse van PN kandidaten bekend, waarbij hoge snelheid H<sub>2</sub>O maser straalstromen (~ 200 km s<sup>-1</sup> of meer) zijn waargenomen. Dit is veel groter dan snelheden gemeten bij OH masers. Waarneming van deze H<sub>2</sub>O masers (of zogenaamde proto-PN masers) met behulp van interferometrie hebben sterk gebundelde straalstromen laten zien. De waargenomen spatiële verdeling en de spectroscopische eigenschappen van deze klasse van bronnen is niet consistent met wat is waargenomen voor normale AGB sterren. Dit zou kunnen betekenen dat gedurende de post-AGB fase de uitstromen de CSEs beïnvloeden en een indruk achterlaten die zich in een later stadium van de evolutie zal manifesteren als een asymmetrische PN. Dit impliceert dat andere delen van de CSEs van deze objecten (bijvoorbeeld OH and SiO maser schillen) ook afwijkingen van sferische expansie zouden kunnen vertonen. Het bestuderen van CSEs van deze objecten met behulp van hoge resolutie waarnemingen van andere maser soorten op verschillende afstanden van de centrale AGB ster is dus essentieel om te begrijpen hoe asymmetrieën zich ontwikkelen terwijl de ster door de AGB fase evolueert.



**Figuur 3** – Het principe van maseremissie: In alle afbeeldingen zijn de grote cirkels moleculen geëxciteerd naar een hoger energieniveau. De kleine cirkels zijn moleculen in het lage energieniveau. Paneel (a): Het molecuul in het hoge energieniveau wordt gestimuleerd door een foton met golflengte  $\lambda$ . Paneel (b): Het molecuul absorbeert het foton en zendt vervolgens twee fotonen uit om terug te komen naar het lage energieniveau. Deze twee fotonen raken de volgende twee geëxciteerde moleculen wat resulteert in vier fotonen (paneel (c)). Dit proces herhaalt zich en de maser versterkt de straling met golflengte  $\lambda$  exponentieel terwijl de straling door het medium gaat.

## Masers als gereedschap om sterevolutie te bestuderen

De circumstellaire masers die zich voordoen in de CSEs van geëvolueerde sterren zijn natuurlijke bakens in de uitstroom op verschillende afstanden van de centrale AGB ster. Interferometrische waarnemingen van masers maken het mogelijk om de spatiele verdeling van masers in verschillende delen van de CSEs rond AGB en post-AGB sterren te bepalen. Hiermee kunnen we de asymmetrieën bestuderen die ontstaan in de AGB/post-AGB fase en vervolgens zullen leiden tot non-sferische PNs. De masers hebben erg hoge helderheidstemperaturen ( $\sim 10^9$  K of hoger). Dit maakt hen spectaculaire bronnen voor het doen van interferometrische waarnemingen. Gedurende mijn onderzoek heb ik verschillende interferometer telescopen gebruikt om circumstellaire masers in kaart te brengen met een resolutie tot 0.5 mas. Bovendien zijn polarimetrische waarnemingen van masers de beste methode om magnetische velden in CSEs te bestuderen. Dit kan ons helpen om te begrijpen wat de rol is van magnetische velden in de vorming van CSEs tijdens de AGB fase.

## Dit proefschrift

Het onderzoek in dit proefschrift is gericht op waarnemingen van masers rond geëvolueerde sterren. De waarnemingen zijn gedaan met behulp van zowel radiointerferometers als eenvoudige radiotelescopie. Het doel van het onderzoek is om verschillende belangrijke vragen te behandelen:

1. Wat is de rol van het magnetisch veld bij het vormen van de circumstellaire omgeving van AGB sterren?
2. Komen sterke magnetische velden regelmatig voor in verschillende klassen van AGB sterren?
3. Komen non-sferische morfologieën regelmatig voor in de CSEs van geëvolueerde sterren?

## Hoogtepunten van het proefschrift

- *Hoofdstuk 2 & 3*

Wij hebben OH maser polarimetrische waarnemingen uitgevoerd van drie proto-PN objecten (W43A, OH 12.8-0.9 en OH 37.1-0.8) met de MERLIN interferometer in het Verenigd Koninkrijk. Het belangrijkste doel van de waarnemingen is te begrijpen of grootschalige magnetische velden bestaan in de circumstellaire omgeving van deze sterren. Wij rapporteren een gemiddeld magnetisch veld van 100, 29 and 360  $\mu\text{G}$ , gemeten voor de OH maser gebieden van W43A, OH 12.8-0.9 en OH 37.1-0.8. De resultaten laten dus zien dat magnetische velden een belangrijke rol kunnen hebben in het vormen van de CSEs van deze sterren. Tevens laten de waarnemingen zien dat er aanwijzingen zijn voor asymmetrische expansie van de OH maser schillen van alle objecten bestudeerd in dit werk.

- *Hoofdstuk 4*

In dit hoofdstuk presenteren wij  $\text{H}_2\text{O}$  maser polarimetrische waarnemingen van een groep geëvolueerde sterren. Met behulp van deze waarnemingen hebben wij een magnetisch veld gemeten van  $18.9 \pm 3.8$  mG voor de  $\text{H}_2\text{O}$  maser van de OH/IR ster IRAS 19422+3506. Voor de andere bronnen in ons sample stellen wij bovenlimieten van 10-800 mG aan de sterkte van het magnetische veld.

- *Hoofdstuk 5*

In dit hoofdstuk worden multi-epoch waarnemingen van de  $\text{H}_2\text{O}$  masers van een sample van post-AGB kandidaten gepresenteerd. Deze waarnemingen zijn gedaan met Effelsberg telescoop. Het doel van de waarnemingen was hoofdzakelijk om meer proto-planetaire masers te vinden. Hiermee kan een statistisch significant sample van deze belangrijke overgangsoBJECTEN worden samengesteld. Wij hebben vijf proto-PN kandidaten gevonden. Deze kandidaten hebben opvallende dubbel-piek profielen wat erop kan wijzen dat deze masers plaatsvinden in bipolaire uitstromen.

Daarnaast hebben wij  $\text{H}_2\text{O}$  masers gedetecteerd bij de 'dood' veronderstelde OH/IR ster IRAS 18455+0448. Dit object wordt gezien als het prototype van een 'dode' OH/IR ster na de snelle verdwijning van de 1612 MHz OH masers. Wij hebben OH maser vervolgwaarnemingen gedaan van deze ster op 1612, 1665, 1667 MHz. De waarnemingen laten zien dat de 1612 MHz OH masers niet opnieuw zijn verschenen samen met de  $\text{H}_2\text{O}$  masers en dat de 1665 en 1667 MHz masers significant zwakker zijn geworden.

- *Hoofdstuk 6* Hierin presenteren wij VLBA waarnemingen van de SiO masers van een geëvolueerde ster met een hoog massaverlies (OH 44.8-2.3). De waarnemingen laten een ring zien. Tevens laat vergelijking tussen de SiO maser ring en de OH maser morfologie van deze ster zien dat de OH masers uitgerekt zijn in de richting waar er een gat is in de SiO maser ring. Ook geeft de polarisatieanalyse een magnetisch veld van 1.5 G voor de SiO masers

van deze ster. Over het geheel is het waarschijnlijk dat er een mechanisme is dat asymmetrieën beïnvloed op vele schalen en dat magnetische velden een belangrijke rol spelen in het vormen van de circumstellaire omgeving van deze ster.

## Conclusies

De resultaten gepresenteerd in dit proefschrift hebben laten zien dat waarnemingen op hoge resolutie van astrofysische masers een uniek gereedschap zijn voor het bestuderen van de morfologieën van CSEs in verschillende klassen van AGB sterren. Dit heeft ons geholpen meer te begrijpen van de evolutie van asymmetrieën in CSEs gedurende de AGB fase. Onze waarnemingen hebben laten zien dat asymmetrieën voor kunnen komen in verschillende klassen van geëvolueerde sterren. In het bijzonder geven polarimetrische waarnemingen van de masers de meest directe methode om zowel de sterkte van het magnetisch veld te bepalen, alsook de morfologie op verschillende afstanden van de centrale ster. De polarisatiestudies gepresenteerd in dit proefschrift laten zien dat magnetische velden een significante rol kunnen spelen in het vormen van de circumstellaire omgeving.