



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## The evolving velocity field around protostars

Brinch, C.

### Citation

Brinch, C. (2008, October 22). *The evolving velocity field around protostars*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/13155>

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/1887/13155>

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

# Nederlandse samenvatting

## Stervorming

Dit proefschrift gaat over de beweging van moleculair gas tijdens de verschillende fasen van stervorming. Sterren vormen uit donkere nevels, gigantische interstellaire wolken die bestaan uit gas en stof. Deze wolken bevatten genoeg materiaal voor honderden, soms wel duizenden sterren. Soms wordt een gebied in een van deze wolken onstabiel en de zwaartekracht zorgt ervoor dat het gas en stof samentrekken. Dit is de eerste fase van stervorming. Figuur 8.1 toont een illustratie van een gebied van een interstellaire wolk (paneel a) dat instort onder de zwaartekracht (paneel b). Als het gas instort, wordt de dichtheid een miljoenkeer hoger en uiteindelijk wordt de dichtheid hoog genoeg dat een ster ontstaat. Niet al het gas eindigt in de ster. Het gas draagt, als het in de wolk zit, een hoeveelheid impulsmoment, omdat de wolk langzaam roteert. Elke interstellaire wolk roteert, al is het slechts zeer lichtjes, en deze rotatie wordt overgebracht op het instortende gas. Als het gas instort, wordt de afmeting van de baan kleiner en de rotatiesnelheid groter. Dit resulteert in een middelpuntvliedende kracht in het vlak van de rotatie. Loodrecht op dit vlak is geen middelpuntvliedende kracht en daarom stort het gas in in deze richting sneller in. Door deze asymmetrie wordt een roterende schijf gevormd (Fig. 8.1, paneel c en d). Dit wordt een protoplanetaire schijf genoemd. De protoplanetaire schijf wordt verwarmd door de onlangs gevormde ster en chemische reacties tussen de moleculen beginnen. Ondertussen begint het stof samen te klonteren en grotere deeltjes worden gevormd, zoals kleine stenen en rotasen. Dit is het eerste stadium van planeetvorming, en wanneer de stenen groeien, helpt de zwaartekracht om meer stof en ook gas te verzamelen. Na ongeveer een miljoen jaar vervaagt de schijf en blijft een planeetsysteem achter. De vragen die in dit proefschrift worden behandeld, gaan over hoe het gas wordt vervoerd van de wolk naar de schijf en op welke tijdschaal dit gebeurt.

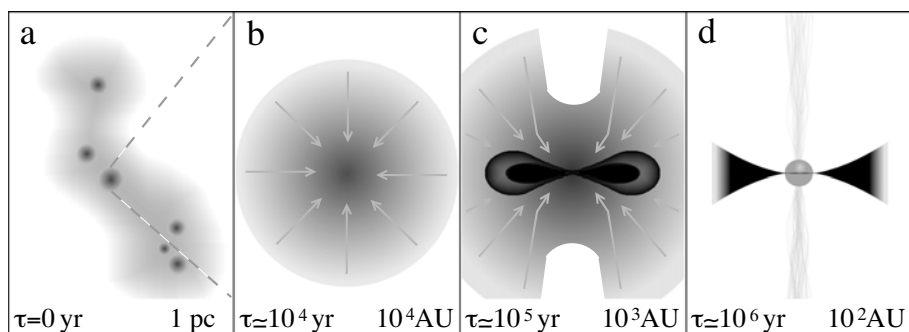


Figure 8.1: Een illustratie van stervorming. De panelen worden beschreven in de tekst. De tijdschaal en grootteschaal is aangegeven in elk paneel. 1 AU = 1 Astronomische eenheid = 1 maal de afstand tussen de aarde en de zon  $\approx 1.5 \times 10^{11}$  meter. 1 pc = 1 parsec  $\approx 10^5$  AU.

## De kinematica van het gas rond protosterren

In het beeld beschreven zoals hierboven, begint het gas op een baan naar het centrum en eindigt het op een cirkelbaan vergelijkbaar met planeetbanen. Niet al het gas eindigt in de schijf; een deel wordt opgenomen in de ster. Dit betekent dat als de wolk instort, de massa van de ster groter wordt. Dit gebeurt op dezelfde tijdschaal als de vorming van de schijf en het snelheidsveld verandert van invallend naar roterend. Een hydrodynamische simulatie van stervorming voorspelt de ontwikkeling van de stermassa en de gemiddelde richting van de gasstroom van een typische protoster (Figur 8.2). Als deze simulatie stervorming goed beschrijft, dan kan de leeftijd van de protoster worden afgeleid door de massa en het snelheidsveld te meten.

Het probleem is, dat het niet mogelijk is om de stermassa en het snelheidsveld direct te meten. Deze grootheden, echter, beïnvloeden de vorm van de profielen van de emissielijnen van de gasmoleculen. Door een wiskundig model te bouwen kunnen lijnprofielen van dit model worden berekend en kunnen deze worden vergeleken met waarnemingen. Als zij overeenkomen, is het model waarschijnlijk goed. Op deze manier kan kennis over de kinematische eigenschappen van protosterren en hun schijven en omhulsels worden verkregen en daardoor het is mogelijk om hen in een evolutionaire context te plaatsen.

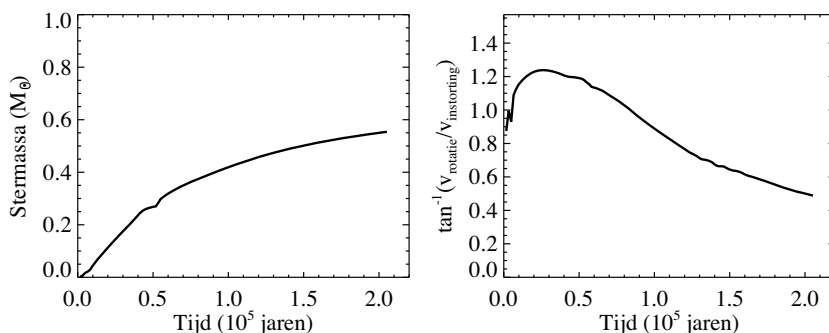


Figure 8.2: In het linker paneel wordt de ster massa als functie van tijd getoond. Het rechter paneel toont de samenstelling van het snelheidsveld als functie van tijd. Beide panelen tonen resultaten van een hydrodynamische simulatie van ster-  
vorming.

## Dit proefschrift

Na een korte inleiding in hoofdstuk 1, beschrijft hoofdstuk 2 een model dat van de jonge ster L1489 IRS is ontwikkeld. Het model bestaat uit eenvoudige parametrisatie van de moleculaire dichtheid, de temperatuur en de snelheid. De nieuwe twee-parameter-beschrijving van de snelheid, die in dit hoofdstuk geïntroduceerd wordt, wordt ook gebruikt in de hoofdstukken 3–5. Het model wordt vergeleken met waarnemingen van de James Clerk Maxwell Telescope en het Onsala Space Observatory en parameterwaarden van het beste model worden verkregen. Deze parameters beschrijven een gasomhulsel dat is afgeplat en veel rotatie heeft. Deze hoge rotatiesnelheid suggereert dat een protoplanetaire schijf zich in het omhulsel bevindt die niet direct wordt waargenomen.

Hoofdstuk 3 is een theoretische evaluatie van het snelheidsmodel dat in hoofdstuk 2 is geïntroduceerd. Het doel is het model tegen een bekende snelheidsverdeling te testen en een maat te geven voor de beschrijving van het daadwerkelijke snelheidsveld van een jonge ster door de beste reproductie van de data. In dit hoofdstuk wordt een hydrodynamische simulatie van ster- en schijfvorming gebruikt en deze simulatie levert een tijdpogelost snelheidsveld en temperatuur- en dichtheidsverdeling. Waarnemingen worden samengevoegd en gemodelleerd met ons snelheidsmodel en het resultaat is een bijna lineaire evolutie in de parameters die als een kinematische klok kan worden.

In hoofdstuk 4 keren wij terug naar L1489 IRS, waarin nieuwe waarnemingen van de Submillimeter Array worden besproken. Deze waarnemingen zijn gedaan met hoge resolutie waardoor meer detail zichtbaar wordt. Vervolgens worden zij vergeleken met een nieuw model dat een protoplanetaire schijf binnen het gas-omhulsel heeft. Daarnaast worden ook infra-rood waarnemingen gebruikt voor de vergelijking. Het verrassende resultaat van dit hoofdstuk is dat de schijf een andere rotatie-as heeft dan het omhulsel en dit betekent dat de schijf dynamisch verschillend van het omhulsel moet zijn.

Hoofdstuk 5 is nog een studie van de hydrodynamische simulatie van hoofdstuk 3. Als het gas ineenstort onder de zwaartekracht, veranderen de temperatuur en de dichtheid en kunnen de moleculen als ijslagen op het stof bevroren. Als de moleculen vastgevroren zijn, wordt er geen straling uitgezonden en daarom is het belangrijk om deze gebieden te kennen. Wij gebruiken onze hydrodynamische simulatie om koolstofmonoxide te volgen en wij berekenen spectra om het effect van deze zogenaamde “freeze-out” te zien.

Hoofdstuk 6 is een studie van een andere jonge ster, NGC1333–IRAS2A. Net als in hoofdstuk 2 en 4 bouwen we een model op basis van de snelheidsbeschrijving van hoofdstuk 3, maar deze keer introduceren we het “freeze-out” model zoals in hoofdstuk 5 werd besproken. IRAS2A is een echte jonge protoster en in tegengestelling tot L1489 IRS heeft het geen rotatie, maar alleen beweging naar het centrum. Dit komt overeen met de belangrijkste stelling van dit proefschrift, dat als protosterren evolueren, het snelheidsveld van radiaal naar roterend verandert.

Het laatste hoofdstuk beschrijft een nieuw computerprogramma om stralingstransport te berekenen. Dit programma is ontwikkeld om spectra sneller te berekenen. Deze nieuwe methode zal verder ontwikkeld worden om data van toekomstige telescopen te analyseren en de werkbaarheid van het concept aan te tonen. De belangrijkste verbetering is dat dit stralingstransportprogramma driedimensionale modellen kan berekenen, sneller dan andere stralingstransportprogramma.