



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Simulating the birth environment of circumstellar discs

Concha Ramirez, F.A.

Citation

Concha Ramirez, F. A. (2021, April 6). *Simulating the birth environment of circumstellar discs*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3158796>

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/1887/3158796>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <https://hdl.handle.net/1887/3158796> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Concha Ramirez, F.A.

Title: Simulating the birth environment of circumstellar discs

Issue Date: 2021-04-06

Nederlandse samenvatting

Circumstellaire schijven zijn structuren van gas en stof die zich rondom jonge sterren bevinden. Na verloop van tijd zullen planeten ontstaan in deze schijven. Om de vorming van planetenstelsels, zoals ook ons zonnestelsel, te begrijpen, is het daarom van belang de evolutie van schijven te bestuderen. Schijven ontwikkelen zich kort na het ontstaan van de sterren waaromheen ze zich bevinden. In een eerste fase is de omgeving van de schijf erg vijandig en zijn ze omringd door materiaal dat voortkomt uit het stervormingsproces. Aangezien de meeste sterren in groepen ontstaan, kunnen nabije sterren in de buurt van de schijf de buitenste schijflagen vernietigen. Dit proces noemen we 'afkapping'. Als de nabije ster zelf ook een schijf bevat, kunnen de twee schijven materiaal uitwisselen. Wanneer er zich zware sterren nabij een schijf bevinden, kan de ultraviolette straling van deze zware sterren een schijf zodanig verhitten dat een deel van het schijfmateriaal verdamppt. Dit proces noemen we 'externe fotoevaporatie'. Ook straling van de ster zelf kan materiaal uit de binnenste lagen van de schijf verwijderen. Dit proces heet dan interne fotoevaporatie. Wanneer de schijf zich voortbeweegt door de gasrijke omgeving ontstaat zogeheten ramdruk, die leidt tot een verlies van massa in de buitenste lagen van de schijf en een verharding van het schijfoppervlak. Ten slotte is het ook mogelijk dat een schijf volledig wordt vernietigd wanneer er in de omgeving een supernova-explosie plaatsvindt.

Circumstellaire schijven zetten ook uit. Materiaal beweegt vanuit de buitenste schijflagen naar de binnenlagen, waar het uiteindelijk op de ster valt. Door de wet van behoud van impulsmoment verruimen de buitenste lagen hierdoor naar buiten. Zonder verstoring zorgt dit proces ervoor dat materiaal op de ster blijft invallen, en de buitenste lagen blijven uitzetten, tot alle massa is opgebruikt. Dit proces zou ongeveer 10 miljoen jaar duren. Uit waarnemingen blijkt echter dat schijven veel sneller verdwijnen. Hierbij spelen twee andere effecten mogelijk een rol. Ten eerste zou het kunnen dat planeetvorming in de schijf zeer snel van start gaat en dat massa snel opgebruikt wordt om aardachtige planeten en de kernen van gasplaneten te vormen. Ten tweede zou het kunnen dat de vijandige steromgeving die hierboven werd beschreven een rol speelt om de massa in de schijf te verkleinen. De omgeving kan hierbij dus een kwestie van leven of dood betekenen voor planetenstelsels. Als de schijf immers al snel na het ontstaan massa verliest, zal er niet genoeg tijd zijn om planeten te vormen. Als we de invloed van de omgeving op circumstellaire schijven beter begrijpen zal dit dus ook helpen om de tijdschaal te bepalen waarin planeten ontstaan.

In deze thesis onderzoek ik het effect van de omgeving op de evolutie van jonge circumstellaire schijven. De focus ligt daarbij op twee specifieke processen: de afkapping van de buitenste lagen door ontmoetingen met andere sterren, en externe fotoevaporatie door straling van nabije zware sterren. Hiertoe werden computersimulaties van deze processen uitgevoerd, waarbij we vervolgens de resulterende schijfmassa's, schijfgroottes, en levensduurtes bestudeerden om deze processen te kwantificeren. Voor deze simulaties werd gebruik

gemaakt van het Astrophysical MULTipurpose Software Environment, AMUSE⁴. In deze softwaretool wordt code samengebracht die sterdynamica, sterevolutie, schijfevolutie, en fotoevaporatie kan modelleren. De code die werd ontwikkeld als onderdeel van dit thesiswerk is open broncode en vrij beschikbaar⁵.

In Hoofdstuk 2 modelleren we clusters met 1500 sterren, die allen een circumstellaire schijf bezitten. Om de schijfevolutie te modelleren maken we gebruik van een semi-analytische aanpak. We onderzoeken daarbij de invloed van interstellair gas in de cluster op de hoeveelheid dynamische interacties en schijfakkingen. We beschouwen drie soorten clusters: een cluster waarbij gas aanwezig is gedurende de gehele simulatie, een cluster zonder gas, en een cluster waarbij gas eerst aanwezig is maar halverwege de simulaties verdwijnt. De schijven ondergaan dynamische interacties die tot afkappingen kunnen leiden. We meten de grootte van de schijven aan het einde van de simulaties en bestuderen hierbij hoe de aanwezigheid van gas de verdeling van schijfgroottes beïnvloedt. Hierbij stellen we vast dat de drie soorten clusters relatief gelijkaardige resultaten opleveren, omdat de intrinsieke evolutie van de schijven leidt tot snellere uitzetting dan de afkapping door interacties. In de modellen waar we traaggroeiende schijven beschouwen, vinden we verdelingen van de schijfgroottes die vergelijkbaar zijn met schijfgroottes die waargenomen zijn in werkelijke stervormingsgebieden.

In Hoofdstuk 3 introduceren we een nieuw schijfmodel. Dit model laat toe om externe fotoevaporatie te modelleren. In deze nieuwe simulaties hebben alle sterren met lage massa (een massa kleiner dan twee zonsmassa's) een circumstellaire schijf. Sterren met hoge massa (groter dan twee zonsmassa's) zenden ultraviolette straling uit. Deze straling leidt tot verdamping van materiaal in de schijven. In deze simulaties ondergaan de schijven zowel interne evolutie als dynamische afkappingen en externe fotoevaporatie. We modelleren hierbij regio's met 100 sterren en volgen deze gedurende 2 miljoen jaar. Hieruit blijkt dat de massa die schijven verliezen als gevolg van externe fotoevaporatie ongeveer een grootteorde hoger ligt dan massaverlies ten gevolge van dynamische afkappingen. Dit betekent dat externe fotoevaporatie van groot belang is om de uiteindelijke verdeling van schijfmassa en schijfstraal te bepalen. Verder leren we dat fotoevaporatie erg effectief is om schijven te vernietigen: ongeveer 60% van de schijven zijn al binnen 100.000 jaar uiteengedreven, en na 2 miljoen jaar blijven slechts ongeveer 10 tot 20% van de oorspronkelijke schijven over. Dit impliceert dat planeetvorming erg vroeg van start moet gaan na de schijfvorming, in regio's met sterren met hoge massa's waarbij schijven fotoevaporatie ondergaan. In deze regio's hebben schijven immers al snel niet meer voldoende massa om nog planeten te kunnen vormen.

In Hoofdstuk 4 vertrekken we van hetzelfde model en simuleren we een reeks clusters met 1000 sterren die verschillende groottes hebben. Deze groottes variëren van 0.5 tot 5 parsec (een parsec is ongeveer 3,3 lichtjaar, 210.000 keer de afstand tussen de aarde en de zon, of 31 biljoen kilometer). Op deze manier onderzoeken we een grotere variatie in sterdichtheid. Hierbij trachten we te bepalen hoe de dichtheid van de sterren in een regio de levensduur en massa van schijven beïnvloedt. Uit deze simulaties blijkt dat de schijfmassa sterk afneemt wanneer de sterdichtheid stijgt. In regio's waar de dichtheid hoger ligt dan 100 sterren per vierkante parsec kunnen schijven met een massa hoog genoeg om planeten te vormen niet lang overleven. We vergelijken de verdeling van de schijfmassa's uit onze simulaties voor verschillende sterdichtheden met waarnemingen van stervormingsgebieden en stellen vast dat beiden een gelijkaardige trend vertonen.

In de eerste vier hoofdstukken van deze thesis namen we aan dat alle sterren in een simulatie tegelijkertijd ontstonden en dat ze een bolvormige verdeling vormden. In werke-

⁴<http://amusecode.org>

⁵<http://github.com/franciscaconcha>

jkheid weten we echter dat stervorming leidt tot een eerder fractale en draadvormige verdeling. In Hoofdstuk 5 nemen we daarom een stap terug ten opzichte van de simulaties uit het vorige hoofdstuk. We modelleren het stervormingsproces volgens enkele vereenvoudigde aannames. Dit leidt tot twee belangrijke verschillen met de eerdere simulaties: de ruimtelijke verdeling van sterren in de simulaties is niet langer bolvormig, en niet elke ster vormt op hetzelfde ogenblik. Nadat een ster zich heeft gevormd, wijzen we ze een schijf toe volgens het model dat we eerder in Hoofdstuk 3 en 4 gebruikten. We modelleren zoals eerder de schijfevolutie, externe fotoevaporatie, en dynamische interacties, maar voegen nu ook de effecten van interne fotoevaporatie en stofevolutie in de schijf toe. De simulaties volgen de sterren voor 2 miljoen jaar nadat de laatste ster zich gevormd heeft. Het gevolg van het verlengen van het stervormingsproces is dat jongere schijven langer leven. Wanneer stervorming ten einde komt, wordt het overgebleven gas verwijderd uit het gebied. Dit proces zorgt ervoor dat de cluster uitzet om een nieuw evenwicht te verkrijgen, waardoor de sterdichtheid verlaagt en het stralingseffect afneemt. Vergeleken met eerdere simulaties blijven in deze simulaties meer schijven over en hebben de schijven een hogere massa. Het nieuwe stofmodel zorgt er ook voor dat schijven meer massa in vaste vorm bevatten, wat belangrijk materiaal is voor de vorming van planeten.

De resultaten van de simulaties die in deze thesis werden uitgevoerd tonen aan dat de omgeving een erg belangrijke rol speelt om te bepalen hoe circumstellaire schijven overleven. De omgeving van deze schijven bepaalt hoeveel tijd beschikbaar is om planeten te vormen. Observaties van jonge schijven in stervormingsgebieden ondersteunen deze conclusies. Externe fotoevaporatie kan circumstellaire schijven snel en effectief vernietigen en limiteert bijgevolg hoeveel materiaal en hoeveel tijd ter beschikking is om planeten te vormen, wat belangrijke gevolgen heeft voor onderzoek naar planeetvorming.

* * *