



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Linking simple molecules to grain evolution across planet-forming disks

Salinas Poblete, V.N.

Citation

Salinas Poblete, V. N. (2017, December 18). *Linking simple molecules to grain evolution across planet-forming disks*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/59500>

Version: Not Applicable (or Unknown)

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

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/59500>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The following handle holds various files of this Leiden University dissertation:
<http://hdl.handle.net/1887/59500>

Author: Salinas Poblete V.N.

Title: Linking simple molecules to grain evolution across planet-forming disks

Issue Date: 2017-12-18

Samenvatting

De mensheid heeft zich altijd vragen gesteld over zijn oorsprong en plaats in het universum. Onze voorouders keerden zich naar de hemel en zochten naar antwoorden in de sterren. Talloze mythen en legendes zijn doorgedrongen in de grote beschavingen uit het verleden en dienden als een verklaring voor fundamentele vragen over de oorsprong van het universum en de mensheid. Het is pas sinds kort dat de moderne astrofysica geprobeerd heeft om met rationeel denken de oorsprong van de aarde en het leven in het zonnestelsel te verklaren.

De meest geaccepteerde ster- en planeetvormings-theorie begint met een moleculaire wolk van gas en stof, die massief genoeg is om onder zijn eigen zwaartekracht ineen te storten. Tijdens dit proces ontstaat er een schijf, omdat materiaal dat van verder weg komt een meer rotatie heeft (of hoekmoment, zoals natuurkundigen dit noemen). Deze schijf is oorspronkelijk ingesloten in een omhulsel van gas en stof. Na ~ 0.5 miljoen jaar wordt de envelop weggeblazen door uitstromen, die worden aangedreven door de centrale ster. Deze uitstromen openen een holte uit het omhulsel en laten een schijf achter. Er wordt gedacht dat planeten zich vormen in deze circumstellaire schijven, die daarom de naam protoplanetaire schijven dragen. Deze schijven zijn ontdekt rond vele jonge sterren in verschillende evolutionaire stadia met zeer verschillende fysische en chemische eigenschappen.

Het gas- en stofgehalte van protoplanetaire schijven kan worden onderzocht met behulp van waarnemingen van spectrale lijnen van moleculen in de gasfase en waarnemingen van de thermische straling die wordt uitgestraald door het stof, wat een continuüm-spectrum oplevert. Tijdens zijn typische levensduur van ~ 10 Myrs ondergaat de schijf vele dynamische processen die zijn structuur veranderen, wat uiteindelijk leidt tot de vorming van planeten en de dissipatie van het gas. Bovendien vertonen protoplanetaire schijven een rijke chemie die voornamelijk wordt aangedreven door ultraviolette- en röntgenstraling en die intrinsiek kan worden verbonden met de fysische evolutie van de componenten van de schijf (zie Fig.7.1). Het doel van dit proefschrift is om een verklaring te geven voor de waargenomen morfologie van de emissie van belangrijkste stikstof-, zuurstof- en koolstofhoudende moleculaire soorten door ze te vergelijken met de morfologie van het dichtheidsprofiel van het stof. Het doel van dit proefschrift is om antwoord te vinden op de volgende twee vragen:

- Waar zitten de belangrijkste zuurstof- en stikstofhoudende soorten, namelijk water en ammoniak, in planeetvormende schijven?
- Hoe verhouden fysische structuren, zoals temperatuurgradiënten en substructuren in de dichtheid van het stof veroorzaakt door stofevolutieprocessen, zich tot de vorming en chemie van veelvoorkomende moleculen?

Dit proefschrift

Hoofdstuk 1 van dit proefschrift geeft een algemene inleiding van stervormingstheorie en protoplanetaire schijven, met de nadruk op de evolutie van het stof en de verschillende chemische regimes binnen deze schijven. De analyse is gericht op twee goed bestudeerde protoplanetaire schijven, TW Hya en HD163296. Beide schijven zijn uitstekende laboratoria vanwege hun nabijheid en hun enorm zware en heldere schijven. In dit proefschrift worden zowel infraroodwaarnemingen van de *Herschel Space Telescope* als (sub)millimeter waarnemingen van de Atacama Large Millimeter Array (ALMA) gebruikt. *Herschel* was uitgerust met een enkele spiegel van 3.5 m doorsnede en had drie instrumenten die bij elkaar een golflengte-bereik hadden tussen $\sim 50 \mu\text{m}$ en $\sim 600 \mu\text{m}$. Gegevens uit het waarnemingsprogramma "Water in stervormingsregio's met *Herschel*" (WISH), genomen met het HIFI-instrument aan boord van *Herschel*, werden in dit werk gebruikt. ALMA is een radiotelescoop bestaande uit zesenzestig antennes met een ongekeerd ruimtelijk oplossend vermogen en gevoeligheid. Voor onze twee bronnen zijn met ALMA zowel continuüm emissie als moleculairelijn emissie waargenomen, die worden gepresenteerd in dit proefschrift.

In Hoofdstuk 2 worden ALMA-waarnemingen op een golflengte van 1.3 mm gebruikt om te onderzoeken waar stofdeeltjes van ongeveer 1 mm groot zich in de schijf rond TW Hya bevinden. In planeetvormende schijven klonteren kleine stofdeeltjes ($\sim \mu\text{m}$) samen en groeien uit tot grotere stofdeeltjes (mm, cm en groter) om uiteindelijk planeten te vormen. Terwijl stofdeeltjes van μm -formaat goed aan het gas zijn gekoppeld, zullen grotere stofdeeltjes naar binnen bewegen als gevolg van de wrijving met het gas. De waarnemingen laten zien dat de mm-formaat stofdeeltjes voorkomen tot $\sim 47 \text{ AU}$ vanaf de ster, waarna

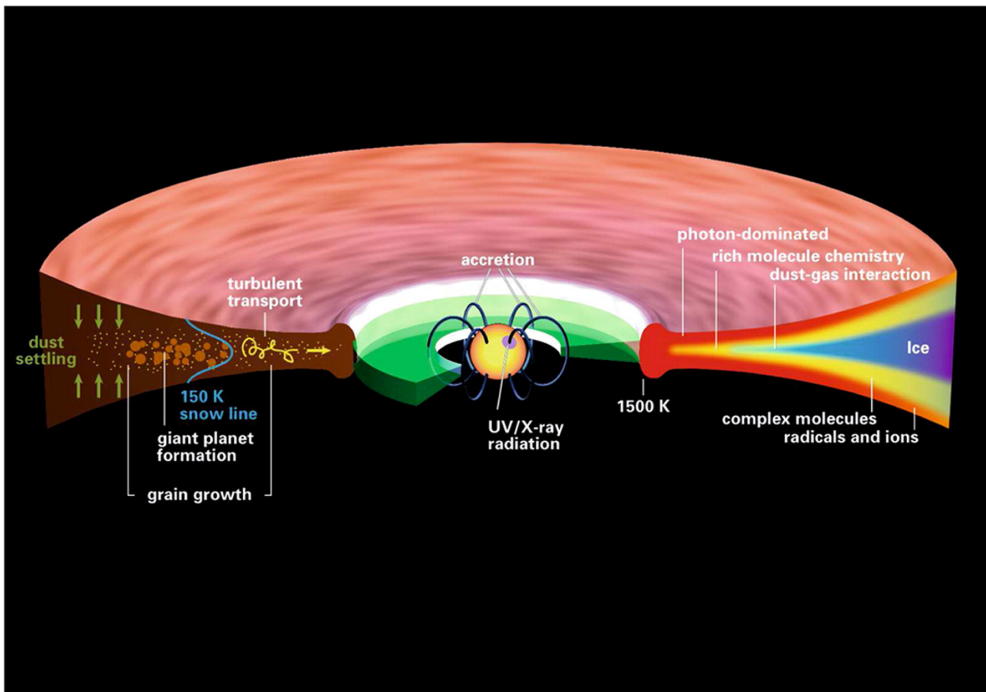


Figure 7.1: Cartoon van stofevolutie en chemische gebieden in de schijf. Figuur uit Henning & Semenov (2013).

hoeveelheid van deze deeltjes snel daalt. Een dergelijke sterke daling wordt voorspeld door theoretische berekeningen van de samenklontering van stofdeeltjes en hun transport door de schijf. Voor typische realistische stofevolutiemodellen van T Tauri-schijven zijn de waargenomen omvang van deze stofdeeltjes en hun totale hoeveelheid echter te groot voor een schijf van 8-10 Myrs. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn een veel hogere initiële schijfgrootte en -massa, een gat in de stofdichtheid, geopend door een tot nu toe nog niet waargenomen planeet, die de radiële migratie van het mm-formaat stof stopt of een lokale overproductie van mm-stofdeeltjes tegenhoudt, geholpen door de aanwezigheid van ijzige stofdeeltjes in gebieden waar CO is bevroren, die efficiënter groeien dan kale stofdeeltjes.

Hoofdstuk 3 presenteert de allereerste detectie van ammoniak in een planeetvormende schijf. De $o\text{-NH}_3$ $1_0\text{-}0_0$ overgang werd waargenomen met het HIFI-instrument aan boord van *Herschel* samen met emissielijnen van $o\text{-H}_2\text{O}$ en $p\text{-H}_2\text{O}$ in TW Hya. Er worden vier verschillende modellen voor de verdeling van deze moleculen onderzocht, ervan uitgaande dat water en ammoniak gemengd zijn en dat ze tegelijkertijd aan de gasfase worden afgegeven. Alleen de meest radieel en verticaal compacte verdeling van zowel water als ammoniak in de gasfase, die volgt uit de omvang van de emissie van het mm-stof ($r \leq 60$ AU), is consistent met de ammoniak-waterverhouding ($\sim 5\%$ - 10%) gevonden in het interstellaire medium en objecten in het zonnestelsel. Andere configuraties die verder uitgestrekt zijn in de radiële of verticale richting kunnen alleen in overeenstemming worden gebracht met de waarden van de interstellaire medium en het zonnestelsel als extra formatieroutes van ammoniak worden toegevoegd. Het afgeleide reservoir van ammoniak en water in de gasfase in elk van deze modellen is slechts een klein deel van het geschatte totale reservoir, wat aangeeft dat het grootste deel van deze moleculen is opgesloten in het ijs.

Verwacht wordt dat het koude gas reservoir van planeetvormende schijven een grote hoeveelheid deuterium-dragende moleculen zoals NH_2D bevat. Hoofdstuk 4 analyseert zowel *Herschel* waarnemingen van de $o\text{-NH}_3$ $1_0\text{-}0_0$ overgang en ALMA-waarnemingen van de $p\text{-NH}_2\text{D}$ $1_0\text{-}0_0$ overgang voor de schijf rond HD 163296. Beide overgangen werden niet gedetecteerd vanwege de bescheiden integratietijden. Dit hoofdstuk onderzoekt twee verschillende radiële verdelingen van het $o\text{-NH}_3$ en $p\text{-NH}_2\text{D}$ gas om limieten te stellen aan hun de sterktes van hun lijnmissie en op hun totale massa. De bovengrenzen die zijn afgeleid voor de totale massa van het $o\text{-NH}_3$ en $p\text{-NH}_2\text{D}$ gas voor deze schijf zijn tien keer lager die voor de ongeveer even zware schijf van TW Hya, wanneer deze waardes worden uitgerekend in hoofdstuk 3 voor het best werkende model gebruik makende van een $\text{NH}_3/\text{NH}_2\text{D}$ -ratio van 10%. Dit suggereert dat de schijf rond HD 163296 NH_3 -arm is met ten minste een factor 5 in vergelijking met de schijf rond TW Hya. Andere stikstofhoudende moleculen gedetecteerd in de richting van deze schijven vertonen verschillende relatieve verhoudingen die niet overeen komen met die voor ammoniak. Dit suggereert dat het gevonden verschil in de totale hoeveelheid $o\text{-NH}_3$ gas tussen deze schijven te wijten is een verschil in de formatie van ammoniak en niet aan een verschil in de totale hoeveelheid stikstof tussen deze twee schijven.

De focus van Hoofdstuk 5 is de analyse en radiële karakterisatie van drie eenvoudige gedeutereerde moleculen in een planeetvormende schijf. DCO^+ , DCN en N_2D^+ werden waargenomen en gedetecteerd in Band 6 met ALMA voor de schijf rond HD 163296. Dit hoofdstuk vertaalt het radiële emissieprofiel van deze drie moleculen naar radiële dichtheden onder simpele aannames. De DCO^+ radiële emissie kan worden gereproduceerd door een model met drie opeenvolgende radiële gebieden en verschillende constante abundanties tussen ~ 50 AU en ~ 316 AU met twee radiële sprongen bij ~ 118 AU en ~ 245 AU. De eerste twee radiële gebieden van het best passende model van de DCO^+ -emissie correleren ruimtelijk met de best passende modellen die de radiële emissieprofielen van DCN en

N_2D^+ beschrijven. Dit kan worden geïnterpreteerd als een weerspiegeling van het feit dat er verschillende manieren zijn om deuterium in de chemie te injecteren. Eén route werkt alleen bij de laagste temperaturen en produceert N_2D^+ ; een andere werkt op iets hogere temperaturen en produceert DCN. DCO^+ vormt zich via beide routes. De oorsprong van de derde regio van DCO^+ -emissie bij ~ 260 AU is onbekend, maar het zou kunnen wijzen op een hogere temperatuur in dit gebied die er voor zorgt dat CO op deze grote radiële afstand van de ster sublimiert waarna het kan reageren om DCO^+ te vormen.

Hoofdstuk 6 probeert de waargenomen DCO^+ -emissie te reproduceren die wordt gepresenteerd in Hoofdstuk 5 met behulp van een meer verfijnd, maar nog steeds eenvoudig netwerk van chemische reacties voor de vorming van DCO^+ in koude omgevingen en een parametrisch model voor de vorming van DCO^+ in warmere omgevingen. De DCO^+ -emissie wordt gereproduceerd door een model met zowel een CO-abondantie van 2×10^{-7} in regio's waar de gastemperatuur hoger is dan 19 K als een bijdrage van 20% van de warme vormingsroute in gebieden waar beide formatieroutes actief zijn. Op grotere radiële afstanden kunnen de waargenomen grootte en vorm van de DCO^+ -emissie worden gereproduceerd door een temperatuurgradiënt te gebruiken die lijkt op de temperatuurgradiënt die wordt voorspeld door modellen van de evolutie van stofdeeltjes in de aanwezigheid van radiaal binnenwaartse migratie van mm-formaat stofdeeltjes.

Algemene conclusies

De analyse gepresenteerd in Hoofdstukken 3 en 4 geeft een antwoord op de eerste vraag die dit proefschrift probeerde te beantwoorden. Het water en ammoniak gas in TW Hya volgt de locatie van het bevroren water en ammoniak reservoir dat is gevangen in grotere stofdeeltjes en planetoïden die zijn neergedaald en naar binnen zijn getransporteerd. De locatie van dit reservoir wordt bepaald door de radiële inwaartse beweging van stofdeeltjes die enige groei hebben ondergaan en vervolgens zijn opgenomen in grotere rotsen. Dit scenario kan worden bevestigd door NH_2D en HDO te observeren in de richting van TW Hya en HD 163296. Hoofdstukken 5 & 6 trekken conclusies over het effect van fysieke structuren op de verdeling van eenvoudige moleculen. Temperatuurgevoelige soorten, zoals DCO^+ , kunnen substructuren volgen in het temperatuurprofiel van planeetvormende schijven. Hoewel de belangrijkste factor in de temperatuurstructuur van de schijf de verwarming door de centrale ster is, wijzigen substructuren als gevolg van stofgroei, en het neerdalen en de inwaartse beweging van stofdeeltjes de temperaturen. Moleculen als DCO^+ kunnen worden gebruikt om indirect de invloed van stofgrootte op de morfologie van de schijf te achterhalen. Het omgekeerde proces, dat wil zeggen de invloed van de locatie van eenvoudige moleculen op de evolutie van stof, wordt onderzocht in hoofdstuk 2 en kan worden bestudeerd door de vorm van de millimetercontinuümemissie en de locatie van de sneeuwlijn van de belangrijkste moleculaire soorten zoals CO met elkaar te vergelijken. Nieuwe instrumenten voor infrarood- en zichtbaar licht in faciliteiten zoals de toekomstige James Webb Space Telescope (JWST) of de Extremely Large Telescope (ELT) zullen in staat zijn om belangrijke moleculen waar te nemen in de warme omgevingen van de schijf, ijseigenschappen af te leiden en opgeloste afbeeldingen te maken van het door klein stof weerkaatste sterlicht. Dit stelt ons in staat om de verschillende scenario's te onderscheiden die in dit proefschrift worden onderzocht. Grootschalige systematische onderzoeken van planeetvormende schijven zouden de verschillen tussen individuele objecten helpen wegnemen en de algemene trends in hun structuur en evolutie naar voor brengen, wat zal leiden tot een beter begrip van de processen van planeet- en stervorming.