

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/72197> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Salas Munoz P.A.

Title: A fresh view on carbon radio recombination lines powered by LOFAR

Issue Date: 2019-04-30

6.1. INTRODUCTIE

De ruimte is, zoals de naam suggereert, vooral een lege ruimte. Maar, iedereen die weleens een heldere nacht heeft meegemaakt, kan je vertellen dat de ruimte vol is met sterren. Als je nauwkeuriger gaat kijken, zul je zien dat deze sterren zich voornamelijk bevinden in een band over de hemel. Met een beetje verbeeldingskracht lijkt deze band wel een beetje op een rivier van gemorste melk. Dit is het sterrenstelsel waar ook de Aarde zich in bevindt, de Melkweg. Wij zien de Melkweg dus ook van binnen, als een dunne streep aan de hemel. Dit komt omdat de Melkweg zo dun is als een pannenkoek. (Bekijk de volgende keer wanneer je pannenkoeken eet je pannenkoek maar van de zijkant. Hartstikke dun!)

De Melkweg is niet het enige sterrenstelsel in het universum, het zit er vol mee. Jonge stelsels, oude stelsels, stelsels in de vormen van pannenkoeken, rugbyballen en nog veel meer en vaak ook met allemaal verschillende kleuren. Je ziet heel duidelijk alle sterren schijnen, maar naast deze sterren is er nog veel meer te vinden in een sterrenstelsel. Tussen de sterren zit stof en gas. Heb je op een zonnige dag wel eens over een stoffig oppervlak gekeken en het stof de lucht in geblazen? En heb je ook gezien dat dit stof zonlicht tegenhoudt of weerkaatst? Het stof in de ruimte heeft ook veel van dat soort eigenschappen. En het gas in de ruimte is erg te vergelijken met de wolken in de lucht, en het stof lijkt op de dampen die uit een schoorsteen komen. Ook al zijn het stof in huis en het gas uit de uitlaat misschien vervelend voor ons, het gas en stof in de ruimte spelen een belangrijke rol in het leven van een sterrenstelsel.

Heb je je bijvoorbeeld ooit afgevraagd waar de Zon vandaan komt? De zon is een ster, net als de stipjes aan de nachtelijke hemel. Het is een relatief kleine ster, maar sterren zoals de zon komen veel voor in de Melkweg. Alle biljoenen sterren in ons universum worden op eenzelfde manier geboren, uiteraard allemaal op verschillende momenten en verschillende plaatsen, maar allemaal begonnen ze als stof en gas. Veel stof en gas kan samenkomen tot structuren die lijken op wolken, zoals de wolken die waarschijnlijk op



Figure 6.1.: De Melkweg bij heldere hemel boven Paranal, Chili. De meeste stipjes die je hier ziet zijn sterren. Je ziet dat sommige gebieden bijna “wit” zijn, hier zien we heel veel sterren bij elkaar. Je ziet ook donkere gebieden, dit zijn wolken van stof die licht van de sterren voor ons verbergen. Image credit: B. Fugate (FASORtronics)/ESO

dit moment in de lucht boven je hangen, maar dan veel groter dan onze wolken. Deze interstellaire wolken, tussen de sterren, kunnen zelfs vele malen groter worden dan ons zonnestelsel, waar de aarde maar een hele kleine fractie van is. Groter betekend natuurlijk ook zwaarder, sommige wegen meer dan een miljoen keer onze Zon. Op een gegeven moment is zo'n wolk zo zwaar dat het geen wolk kan blijven, maar alleen nog maar ineen kan vallen. Net als wanneer je een tas probeert te dragen die te zwaar is, je kunt niks anders dan hem weer neerleggen. Wanneer deze grote wolken ineenvallen, kunnen sterren zich vormen, maar de temperatuur van de wolk moet wel laag genoeg zijn. Een andere manier om hier over na te denken is met regendruppels in een wolk. Wanneer het gasvormige water in de wolk afkoelt, condenseert het tot waterdruppels. Het stervormingsproces kan vele duizenden keren plaatsvinden in een sterrenstelsel. En elke keer wordt niet al het gas en stof omgezet tot ster, maar blijft er een beetje van de wolk over.

Betekend dit dat al het gas en stof in een keer opgebruikt wordt? Niet helemaal, sterrenstelsels zijn namelijk erg goed in het hergebruiken van materiaal. In de loop der tijd worden de sterren ouder. Op een gegeven moment kan een ster niet meer schijnen, wanneer dit bijna zo is geeft de ster een deel van zijn gas en stof af aan zijn omgeving. Sterren zoals de Zon doen dit langzaam, ze niezen beetje bij beetje wat van hun gas en stof de ruimte in. Sterren die groter zijn dan de Zon “niezen” heel vaak voor ze uitdoven, maar deze sterren hebben ook een laatste hele grote nies. Ze zeggen “boem” in iets dat

een supernova heet. Of de ster een supernova wordt of niet, een deel van het stof en gas wordt altijd terug gegeven aan het sterrenstelsel. Dit betekent dat weer nieuwe sterren gevormd kunnen worden uit dit gerecyclede materiaal, net zoals je dat zelf met een deel van je afval ook kunt doen. Dit was het laatste stapje in de beschrijving van de werking van een sterrenstelsel.

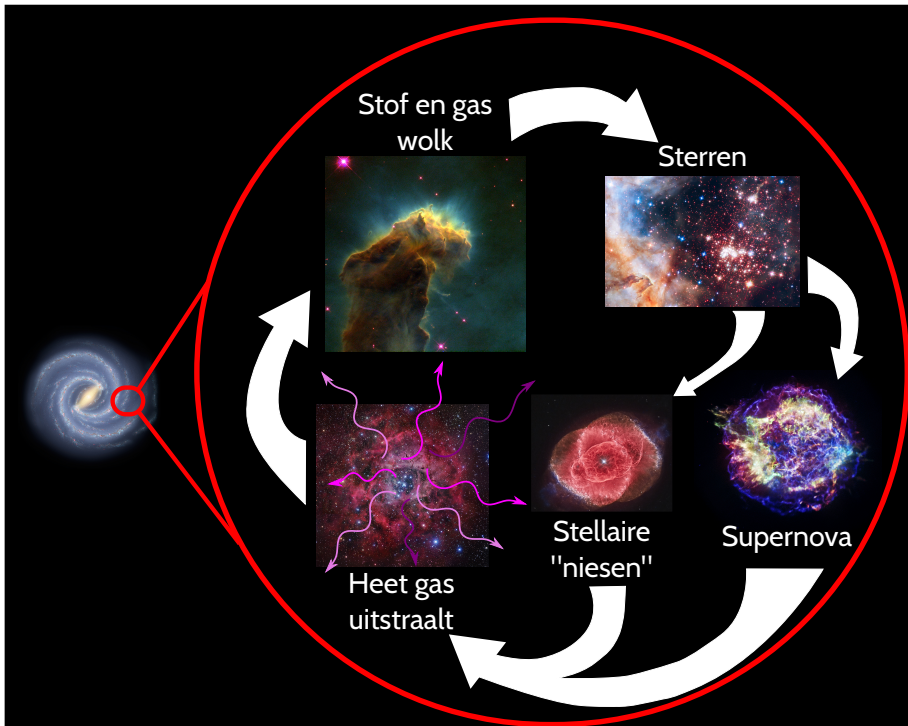


Figure 6.2.: Het ecosysteem van een sterrenstelsel is net een levenscyclus. In een stelsel als de Melkweg worden continue sterren geboren uit wolken van gas en stof. Op hun beurt geven sterren dit terug aan het stelsel wanneer ze uit gaan. Het afkoelende gas en stof van deze sterren is spectaculair om te zien. Wanneer het ver genoeg is afgekoeld kan het weer gebruikt worden om sterren te vormen. Image credit: NASA/ESA/Hubble/HLA/Robert Gendler/Raul Villaverde

Zoals je misschien wel kunt raden is al het materiaal dat de ster heeft uitgeniest nog erg warm. Hoe koelt dit nou weer voldoende af dat er sterren gevormd kunnen worden? Zelfs met al het gas en stof en alle sterren is de ruimte nog steeds erg leeg. Onder deze omstandigheden straalt het hete materiaal al zijn hitte de ruimte in. Je kunt het vergelijken met een warme zonnige dag, de meeste warmte komt dan van de straling die we opvangen van de Zon. Het gas tussen de sterren straalt ook, net als de Zon, en koelt daarmee af (De Zon koelt niet af omdat het continue bezig is materie om te zetten in energie. Warmte is gewoon een andere vorm van energie). Het uitstralen van de warmte door de hete materie zorgt voor de afkoeling die nodig is om weer nieuwe sterren te kunnen vormen.

Dit is het Galactische ecosysteem, een cyclus. In sterrenstelsels, verzamelingen sterren, stof en gas worden aan de lopende band sterren gevormd. In dit proces recycleren de sterren een deel van het stof en gas dat zijn oorsprong has in niesbuien van sterren. Het gerecyclede materiaal koelt af en kan dan weer gebruikt worden voor de bouw van nieuwe sterren. Deze cyclus is een van de belangrijkste aspecten van de evolutie van sterrenstelsels.

6.2. DIT PROEFSCHRIFT

In dit proefschrift concentreren we ons op de studie van koud gas in de Melkweg, in het bijzonder de grote gasreservoirs van atomair waterstof. Waterstof is het meest voorkomende element in het universum en het interstellair medium (ISM). In het ISM wordt atomair waterstof gevonden in gigantische wolken, HI-wolken. Deze wolken kunnen worden bestudeerd op radiogolflengten met behulp van de 21 cm-lijn van atomair waterstof. En hoewel deze lijn astronomen heeft geholpen om de eigenschappen van HI-wolken te begrijpen, zijn er veel open vragen, omdat deze 21 cm-lijn weinig informatie biedt over het gas. We weten bijvoorbeeld niet zo goed wat de druk is in HI-wolken. Het is belangrijk om dit te weten als we de levenscyclus van sterrenstelsels willen begrijpen, omdat waterstof het grootste reservoir van materiaal is waaruit sterren zich vormen, en afhankelijk van zijn druk zal het kunnen afkoelen en sterren vormen of het zal nog een langere tijd een gaswolk blijven.

Een alternatief dat we kunnen waarnemen om HI-wolken te bestuderen, zijn koolstof radio-recombinatielijnen. Deze lijnen worden uitgestraald door koolstofatomen die zo groot kunnen zijn als de diameter van een mensenhaar! En hoewel ze veel zwakker zijn dan de 21 cm-lijn, bieden ze de aanvullende informatie die nodig is om HI-wolken te begrijpen.

Omdat lijnen voor koolstofradio-recombinatie lijnen zwakker zijn dan de lijn van 21 cm, hebben we grotere telescopen nodig om ze te observeren. Een voorbeeld van een telescoop die recombinatielijnen kan detecteren, is de Low Frequency Array (LOFAR). LOFAR is een radio-interferometer, dit betekend dat het de signalen van vele antennes combineert om beelden van de sterrenhemel te maken. De antennes bevinden zich overal in Europa. De meesten van hen zijn in Nederland, maar er zijn antennes in Ierland, Polen, Zweden, Frankrijk, Verenigd Koninkrijk, Duitsland en in de toekomst ook in Italië. De signalen van deze antennes worden over een high-speed glasvezelnetwerk naar Groningen vervoerd, waar ze worden gecombineerd en later door astronomen worden verwerkt om beelden van onze Melkweg en andere sterrenstelsels te maken. Bij het combineren van de signalen van deze antennes, is het erg belangrijk om heel precies te weten hoe laat het signaal bij elke antenne arriveert. Hoofdstuk 5 van dit proefschrift presenteert de implementatie van een methode waarmee astronomen het tijdstip van aankomst van een signaal vanuit de ruimte naar de antennes kunnen bepalen.

Dankzij LOFAR kunnen we koolstofradio-recombinatielijnen uit onze Melkweg waarnemen en voor de eerste keer individuele HI-wolken identificeren via deze lijnen. Dit is een grote stap in ons begrip van het ISM, omdat het nu mogelijk is om gedetailleerde kaarten te maken, niet alleen van de gasdistributie, maar ook van de druk.

Hoofdstuk 3 van dit proefschrift presenteert de eerste kaarten van de gasdruk in onze Melkweg. Hoofdstuk 2 van dit proefschrift laat zien hoe we met LOFAR koolstofradio-recombinatielijnen kunnen detecteren op de laagste frequenties die we vanaf de aarde waarnemen (de atmosfeer wordt ondoorzichtig voor radiogolven op lagere frequenties) en wat we daarover van het ISM kunnen leren. Hoofdstuk 4 past de lessen die zijn geleerd uit de hoofdstukken 2 en 3 toe op de emblematische Orion-nevel (gelegen op de punt van het zwaard van Orion) en maakt ook gebruik van koolstofradio-recombinatielijnen op hogere frequenties (zoals degene die kunnen worden waargenomen door ALMA) om de druk te bepalen in een stervormingsgebied.

In de toekomst zal het dankzij LOFAR en andere radiotelescopen mogelijk zijn om de druk in de HI-wolken in onze Melkweg met grote precisie te bepalen. Dit zal astronomen helpen te begrijpen wat de rol is van deze gigantische gasreservoirs in de levenscyclus van sterrenstelsels in de kosmische tijdschalen.

