



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Resolving gas-phase metallicity in galaxies

Carton, D.J.

### Citation

Carton, D. J. (2017, June 29). *Resolving gas-phase metallicity in galaxies*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/50090>

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/1887/50090>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/50090> holds various files of this Leiden University dissertation

**Author:** Carton, David

**Title:** Resolving gas-phase metallicity in galaxies

**Issue Date:** 2017-06-29

# 6

---

## Samenvatting

---

### 1 Wat zijn metalen?

Kort na de Oerknal was het Universum heet en dicht genoeg om protonen en neutronen samen te brengen tot atoomkernen. Echter, omdat het Universum snel uitdijde en afkoelde was er alleen voldoende tijd voor het vormen van de lichtste elementen, en daardoor bestond het vroege Heelal bijna alleen maar uit waterstof en helium.

Onder invloed van zwaartekracht verenigde dit gas zich na een tijdje in gebieden met een hoge dichtheid waar later sterren zouden vormen. In de kern van de sterren waren the temperatuur en dichtheid weer hoog genoeg om waterstof en helium te fusering in zwaardere elementen. Deze “zware” elementen worden door astronomen *metalen* genoemd.

### 2 Waarom zijn metalen interessant?

Omdat metalen gevormd moeten zijn in sterren, geeft het bestuderen van de hoeveelheid metalen in sterrenstelsels informatie over de vroegere sterformatie in stelsels. Als we meer metalen waarnemen, moet er immers meer sterformatie hebben plaatsgevonden in het verleden.

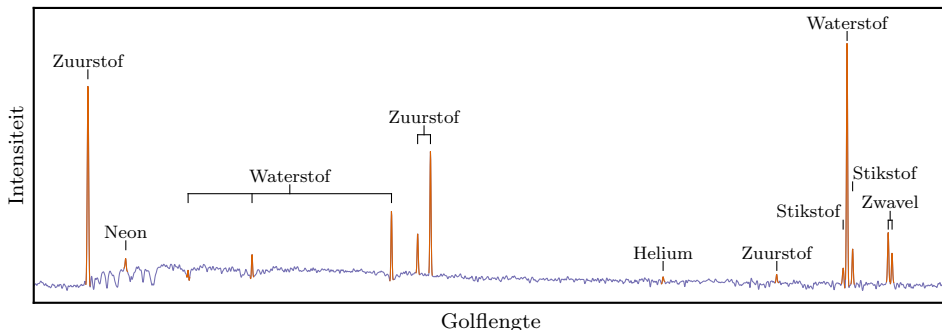
Als we echter de metalliciteit van sterrenstelsels berekenen (dit is the verhouding tussen metalen en waterstof in stelsels), vinden we over het algemeen minder metalen dan we zouden verwachten aan de hand van het aantal sterren dat we waarnemen. Dit verschil kan worden uitgelegd als stelsels tijdens hun leven gas van een hoge metalliciteit kunnen afstoten en/of metaalarm gas kunnen aantrekken.

Sterrenstelsels zijn niet geïsoleerd van hun omgeving. Het begrijpen van de stroom van gassen in of uit stelsels is fundamenteel om the evolutie van sterrenstelsel uit te leggen. Metalliciteit biedt een krachtig hulpmiddel voor het bestuderen van de brandstofvoorziening van sterrenstelsels.

### 3 Hoe meet men metalliciteit?

Er zijn twee soorten meetbare metalliciteit: de fractie van metalen in sterren zelf (de stermetalliciteit) en de fractie van metalen in het gas tussen sterren (the gasmetalliciteit). Hoewel de eerste soort een directere hoeveelheid is, is het moeilijker om te meten omdat hiervoor gedetailleerde waarnemingen van het licht van sterren nodig zijn. Het hete geïoniseerde gas waarmee jonge zware sterren worden omringd straalt juist licht uit op erg specifieke golflengten (de kleuren van het licht). Deze *emissielijnen* worden prominent weergegeven in de spectra van sterrenstelsels die actief nieuwe sterren vormen (zie Fig. 6.1).

De relatieve sterkte van de emissielijnen hangt af van de complexe balans tussen het ultraviolette licht dat wordt uitgezonden door jonge sterren (welke het gas opwarmen) en



Figuur 6.1: Een voorbeeldspectrum van een sterrenstelsels waarin nieuwe sterren worden gevormd. De heldere emissielijnen (gemarkeerd in oranje) zijn duidelijk zichtbaar in vergelijking tot het zwakkere sterlicht (weergegeven in blauw). We zien welk element verantwoordelijk is voor iedere emissielijn.

de snelheid waarmee het gas kan afkoelen. Omdat beide factoren gevoelig zijn voor de metalliciteit<sup>1</sup> kunnen we de metalliciteit van het gas bepalen aan de hand van de verhoudingen tussen de sterktes van bepaalde emissielijnen.

Om dit waar te nemen moet het licht gesplitst worden in zijn samengestelde golflengtes. Normaliter wordt dit gedaan door het licht van een klein gebied van de horizon, waargenomen met een telescoop (een *slit*), te verstrooien door middel van (bijvoorbeeld) een prisma. Het resultaat is een twee-dimensionale afbeelding met de ruimtelijke afstand langs de slit in één richting van de afbeelding, en het spectrum op iedere ruimtelijke positie hier loodrecht op.

### 3.1 De *Multi Unit Spectroscopic Explorer* (MUSE)

Een fundamentele beperking van deze traditionele op een slit gebaseerde spectrografen is dat we alleen een klein gedeelte van de hemel waar kunnen nemen. Dit is niet alleen verspilling van het kostbare licht dat de telescoop binnenvalt, maar het voorziet ons ook slechts van een klein venster op het Heelal.

Gelukkig hebben zich in de afgelopen decennia ontwikkelingen voorgedaan van zogenoemde *integral-field* spectrografen die, door een verscheidenheid aan technieken het mogelijk hebben gemaakt om spectra te verkrijgen over een twee-dimensionaal gebied aan de hemel. De meest vooruitstrevende van deze instrumenten is de *Multi Unit Spectroscopic Explorer* (MUSE), die sterk is geoptimaliseerd met het oog op het maken van lange observaties. Tot nu toe werden diepe spectroscopische waarnemen van ver gelegen sterrenstelsels uitgevoerd op geselecteerde sterrenstelsels. Echter, met de komst van MUSE is er nu de mogelijkheid om een niet-voorgeselecteerde spectroscopisch venster waar te nemen.

## 4 Deze thesis

In deze thesis focussen we niet alleen op het verkrijgen van de metalliciteit van sterrenstelsels, maar ook op hoe de metalliciteit verandert met de afstand tot het centrum van stelsels. Omdat er niet maar één waarde voor de metalliciteit is die het hele sterrenstelsel kan beschrijven, kunnen we een dieper inzicht verkrijgen als we deze variaties ruimtelijk in kaart brengen.

<sup>1</sup>Strikt gesproken hangt de eerste af van de stermetalliciteit en de tweede van de gasmetalliciteit

**Hoofdstuk 2** We bestuderen 50 relatief dichtbij gelegen sterrenstelsels (op ongeveer 350 miljoen lichtjaar bij ons vandaan), toen de leeftijd van het Heelal ongeveer 97% procent was van de huidige leeftijd<sup>2</sup> Deze sterrenstelsels zijn geselecteerd omdat de hoeveelheid gas die ze bevatten significant verschilt, hoewel ze in andere aspecten overeenkomstig zijn. We onderzoeken de suggesties uit vorige studies dat de metalliciteit van de buitenste regio's van de meeste gasrijke sterrenstelsels abnormaal laag is. Dit zou het geval zijn als sterrenstelsels recentelijk nieuw gas hadden aangetrokken in deze regio's, en tegelijkertijd zou dit hun lage globale metalliciteit en overmaat aan gas verklaren.

Onze resultaten ondersteunen dit idee echter niet. We vinden inderdaad sterrenstelsels met een extreem lage metalliciteit in de buitenste regio's, maar we vinden niet dat dit gerelateerd is aan de totale hoeveelheid gas in sterrenstelsels. In plaats daarvan vinden we dat, als men rekening houdt met de ruimtelijke verdeling van gas en sterren, de daling in metalliciteit in de buitenste regio's te verwachten is. Als we voldoende ver van het centrum zouden kunnen waarnemen, zouden we eigenlijk dalingen in alle stelsels verwachten.

**Hoofdstuk 3** Een van de meest significante beperkingen voor waarnemingen die met telescopen vanaf de aarde worden gedaan, is de versmering van het signaal dat door de turbulente aardatmosfeer wordt veroorzaakt (een effect dat *atmosferische seeing* wordt genoemd door astronomen). Hoewel dit ook een effect had op de sterrenstelsels die we bestudeerde in Hoofdstuk 2, kan dit effect voor verdere stelsels catastrofaal zijn als we de stelsels ruimtelijk op willen lossen. In de verre sterrenstelsels die we bestuderen in Hoofdstuk 4 & 5 zijn we niet in staat om de variaties in metalliciteit in detail te bestuderen. Het beste dat we kunnen hopen om te meten is de metalliciteit van het centrum van stelsels en de gemiddelde verandering metalliciteit naar de randen toe (i.e. de gradient van de metalliciteit).

Zelfs dan zal de atmosfeer het moeilijk maken om de gradient van de metalliciteit waar te nemen. Daarom moeten we corrigeren voor de atmosferische seeing als we de juiste gradient willen verkrijgen. Om dit te doen construeren we een modelsterrenstelsel, waarmee we onze waarnemingen kunnen simuleren. Door de metalliciteit in ons model aan te passen, zodat het overeen komt met die van onze waarnemingen, kunnen we de gradient van de metalliciteit vinden, en daarmee de ware gradient afleiden.

**Hoofdstuk 4** We passen de methode die beschreven is in Hoofdstuk 3 toe op een selectie van 84 sterrenstelsels die zijn waargenomen met MUSE. Deze sterrenstelsels staan op een afstand van tussen de 1 en 7 miljard lichtjaren, wat overeenkomt met een periode toen het Heelal tussen de 92% en 48% van haar huidige leeftijd was (de gradient in de metalliciteit is nooit eerder bestudeerd in dit tijdperk).

Over het algemeen vinden we een verscheidenheid aan gradienten in de metalliciteit in de sterrenstelsels; sommige stelsels hebben metaalrijke centra en metaalarme buitenste regio's, zoals de stelsels in het huidige Heelal. Andere hebben juist metaalarme centra en metaalrijke buitenste regio's, welke consistent zijn met wat is waargenomen in het verre Heelal. We vinden ook een voorlopig bewijs dat de gradient in de metalliciteit afhangt van de grootte van het stelsel, zodat de grootse stelsels over het algemeen lijken op de huidige ver geëvalueerde stelsels.

**Hoofdstuk 5** In Hoofdstuk 4 hebben we voorbeelden gevonden van sterrenstelsels met een negatieve gradient in de metalliciteit (stelsels waar de metalliciteit in het centrum hoger is dan die in de buitenste regio's) en voorbeelden van stelsels met een positieve gradient (waar de metalliciteit in de buitenste regio's hoger is dan in de centra). Een belangrijke vraag om te stellen is wat het mechanisme is achter deze eigenaardige stelsels met een positieve gradient.

---

<sup>2</sup>Omdat het tijd kost voor licht om te reizen, zijn we door het bestuderen van verre sterrenstelsels in staat om het Heelal in een eerder stadium te bekijken.

Zijn de buitenste regio's extreem rijk aan metalen, of zijn juist de centra ongebruikelijk arm aan metalen?

Na rekening te hebben gehouden met het aantal sterren in de stelsels, vinden we dat de sterrenstelsels met de meest positieve gradiënten in metalliciteit een lager dan verwachte centrale metalliciteit hebben. Ons resultaat sluit echter niet uit dat de metalliciteit in de buitenste regio's tegelijkertijd verhoogd is. Desalniettemin kan de methode die wij presenteren het mogelijk maken om (met een grotere selectie van sterrenstelsels) te bepalen in hoeverre stelsels gas van het centrum herverdelen naar hun buitenste regio's.



