



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Growing up in the city : a study of galaxy cluster progenitors at $z > 2$

Kuiper, E.

Citation

Kuiper, E. (2012, January 24). *Growing up in the city : a study of galaxy cluster progenitors at $z > 2$* . Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/18394>

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/1887/18394>

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

NEDERLANDSE SAMENVATTING

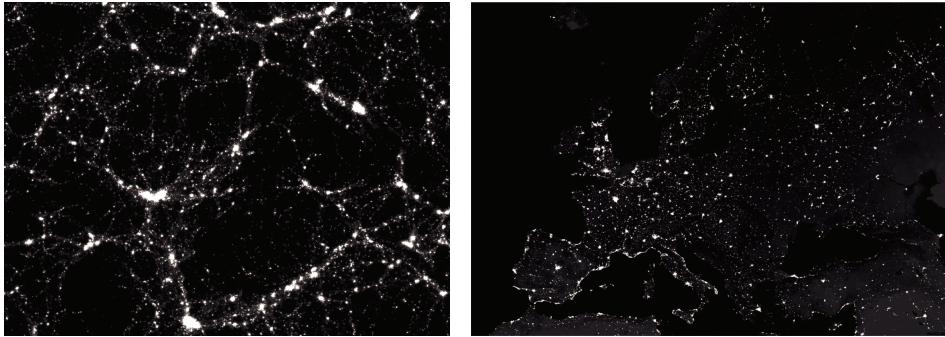
De titel van dit proefschrift is ‘Growing up in the city: a study of galaxy cluster progenitors at $z > 2$ ’. Dit kan in het Nederlands ongeveer vertaald worden als ‘Opgroeien in de stad: een studie van de voorouders van clusters van sterrenstelsels op $z > 2$ ’. Nu zullen sommigen die dit proefschrift onder ogen krijgen zich misschien afvragen wat ‘steden’ en ‘opgroeien’ te maken hebben met sterrenkunde in het algemeen en clusters van sterrenstelsels in het bijzonder. Het doel van dit hoofdstuk is om het onderzoek beschreven in dit proefschrift, en dus ook de titel ervan, uit te leggen op een laagdrempelige manier. We zullen dit doen door een introductie te geven van de belangrijkste concepten die in dit proefschrift voorkomen. Door deze concepten toe te lichten zal ook direct de relevantie van dit onderzoek voor de sterrenkunde als geheel duidelijk worden. Aan het einde van dit hoofdstuk zullen de belangrijkste resultaten in dit proefschrift worden samengevat.

Het begin

Volgens onze huidige kennis is het heelal zoals wij het kennen 13.7 miljard (of 13.700.000.000) jaar geleden ontstaan in wat we de oerknal noemen. We weten niet precies wat deze oerknal is, maar we weten wel dat het heelal ooit in één punt begonnen moet zijn. Dit weten we doordat het heelal uitdijt; alles beweegt van elkaar af. Na de oerknal is er waarschijnlijk een hele korte periode geweest waarin het heelal heel snel uitzette. Dit noemen we de inflatieperiode. Het heelal was hierna te vergelijken met een soort hete oersoep: een bijna homogeen mengsel van elementaire deeltjes en fotonen. Na ongeveer 400.000 jaar was het heelal zover afgekoeld dat waterstof gevormd kon worden: het materiaal waaruit sterren worden geboren.

Sterren, sterrenstelsels en clusters

Doordat de verdeling van materie tijdens het ontstaan van het heelal niet geheel gelijkmatig was kon zwaartekracht op een gegeven moment een rol gaan spelen. De gebieden waar de dichtheid van de materie groter was begonnen materie uit de omgeving naar zich toe te trekken, waardoor de dichtheid in deze gebieden alleen



Figuur 8.1 – Links zien we de materieverdeling in het heelal zoals voorspeld door een simulatie. De helderste punten in deze afbeelding zijn clusters van sterrenstelsels. De afbeelding rechts is een satellietfoto van Europa bij nacht. Het contrast van de linker afbeelding is aangepast om beter overeen te komen met de rechter afbeelding.

maar toenam. Uiteindelijk werd de dichtheid van het gas zo groot dat het onder zijn eigen zwaartekracht begon in te storten en sterren begon te vormen. Sterren, zoals bijvoorbeeld onze zon, zijn dus eigenlijk niets meer dan grote bollen waterstofgas.

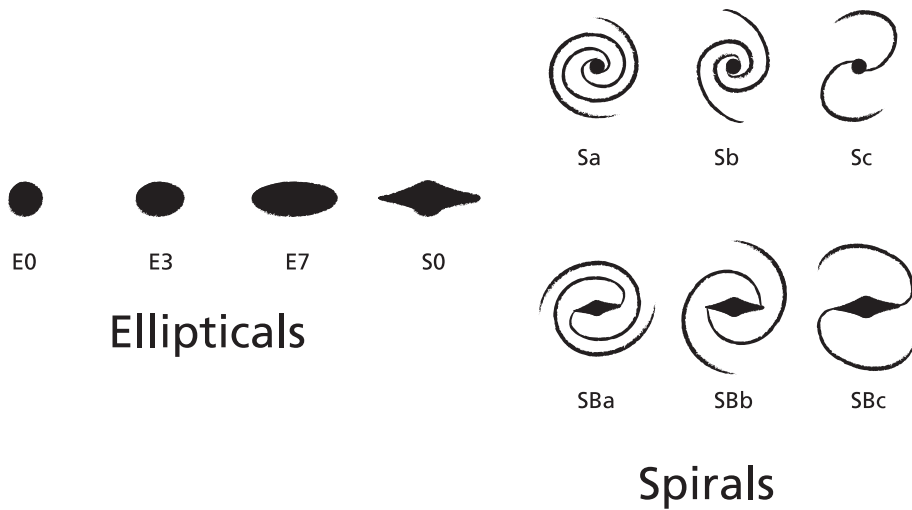
Sterren vormen niet alleen, maar vaak met duizenden tegelijk. Op plekken waar de gasdichtheid groot is beginnen dan ook sterrenstelsels te ontstaan; grote verzamelingen van vele miljarden sterren. Zulke sterrenstelsels zullen door hun zwaartekracht andere sterrenstelsels naar zich toe trekken. Hierdoor ontstaan er groepen van sterrenstelsels: clusters. Deze clusters worden steeds groter doordat naarmate de tijd verstrijkt steeds meer sterrenstelsels door de zwaartekracht naar het cluster worden getrokken en uiteindelijk worden opgenomen.

Als we sterrenstelsels zien als mensen, dan kunnen we clusters van sterrenstelsels dus, in zekere zin, zien als steden. De overeenkomst is ook te illustreren door de materieverdeling in het heelal te vergelijken met een satellietfoto van Europa bij nacht, zoals te zien is in Fig. 8.1. Hoewel de afbeeldingen iets geheel anders laten zien, lijkt de algemene structuur in beide afbeeldingen sterk op elkaar. We kunnen dus clusters van sterrenstelsels zien als de metropolen van het heelal.

De invloed van omgeving

Sterrenstelsels zijn een vrij bonte familie die in veel verschillende vormen en maten voorkomen. Hier zullen we één specifieke methode hanteren en toelichten die gebruikt wordt om onderscheid te maken tussen verschillende types sterrenstelsels.

De twee types sterrenstelsels die we onderscheiden zijn gekwalificeerd als ‘early-type’ of ‘late-type’, wat we kunnen vertalen als ‘vroeg’ of ‘laat’. Deze kwalificatie is een simpelere versie van de Hubble reeks (afgebeeld in Fig. 8.2) en is vooral gebaseerd op de vorm van het sterrenstelsel. Let op dat deze benamingen niet betekenen dat een vroeg-type sterrenstelsel met de tijd zal veranderen in een laat-type sterrenstelsel.



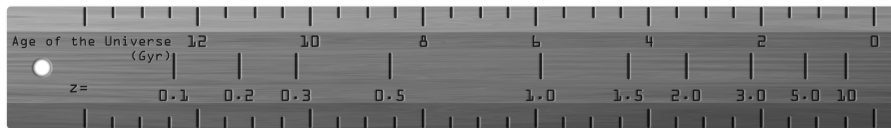
Figuur 8.2 – De Hubble reeks. De stelsels aan de linkerkant zijn ‘ellipticals’; voorbeelden van vroeg-type stelsels. De stelsels aan de rechterkant zijn typische spiraalstelsels en vallen daarom in de categorie van de laat-type stelsels. Image credit: Bakabaka design.

De laat-type stelsels zijn typisch spiraalstelsels: sterrenstelsels waarin de sterren zich in een dunne platte schijf bevinden. Deze schijven vertonen vaak een spiraalpatroon, zoals de naam al aangeeft. Een belangrijk kenmerk van deze sterrenstelsels is dat ze over het algemeen een grote hoeveelheid blauwe sterren bevatten. Blauwe sterren zijn over het algemeen massief en leven kort. De aanwezigheid van blauwe sterren is dus een duidelijke indicatie dat het sterrenstelsel nog actief sterren vormt.

De vroeg-type stelsels zien er echter heel anders uit. Deze sterrenstelsels zijn meer bolvormig en hun vorm wordt vaak vergeleken met die van een rugbybal. Deze stelsels worden dan ook vaak elliptische stelsels genoemd. Een interessant contrast met de laat-type stelsels is dat vroeg-type stelsels voornamelijk bestaan uit rode sterren. Het ontbreken van blauwe sterren duidt er dus op dat er geen sterren meer worden gevormd in deze sterrenstelsels.

Als we nu kijken naar welke types sterrenstelsels er gevonden worden in clusters, dan zien we iets opvallends: het is geen mengsel waarin zowel vroeg als laat-type stelsels even vaak voorkomen. Echter, de vroeg-type stelsels komen veel vaker voor. Daartegenover staat dat in gebieden met een lage dichtheid, het veld, de laat-type sterrenstelsels wel vaak voorkomen. Het is zelfs zo dat hoe hoger de dichtheid is hoe minder blauwe laat-type stelsels er zijn.

Dit verschil tussen stelsels in het veld en stelsels in clusters is een duidelijke aanwijzing dat de omgeving van sterrenstelsels een invloed heeft op hoe sterrenstelsels veranderen en evolueren met de tijd. Dit wordt des te meer duidelijk doordat clusters van sterrenstelsels de enige locaties zijn waar een uniek type sterrenstelsel voorkomt: het cD stelsel. Deze stelsels zien eruit als vroeg-type stelsels, maar zijn



Figuur 8.3 – Een liniaal die beschrijft hoe roodverschuiving zich verhoudt tot de leeftijd van het heelal. Een Gigayear (Gyr) is 1 miljard jaar. Image credit: Bakabaka design.

veel massiever. Daarbij komt ook dat ze een grote halo hebben van sterren die niet voorkomt bij andere sterrenstelsels. Het feit dat deze sterrenstelsels alleen maar voorkomen in clusters is een teken dat de omgeving een essentiële rol heeft gespeeld in de vorming van deze stelsels.

We weten dus dat de omgeving een rol speelt in de evolutie van sterrenstelsels. Het is echter nog niet duidelijk welk fysische processen deze verschillen precies veroorzaken. Dit is één van de belangrijke vragen in de hedendaagse sterrenkunde en één van de vragen die de basis is voor dit proefschrift.

Clusters in het vroege heelal

Om erachter te komen wat precies de verschillen veroorzaakt tussen veld- en clustersterrenstelsels en wanneer dit gebeurt is het van essentieel belang dat we clusters bestuderen op elk mogelijk punt tijdens de geschiedenis van het heelal. De geschiedenis van het heelal kunnen we heel simpel bestuderen omdat we dit nog steeds kunnen zien. Het licht dat wij zien heeft namelijk tijd nodig om ons te bereiken. Licht heeft bijvoorbeeld ongeveer 8 minuten nodig om van de zon naar ons te reizen, dus de zon die wij zien is die van 8 minuten geleden. Uiteraard zal een grotere afstand betekenen dat de reistijd voor het licht langer is en dus kijk je verder terug in de tijd. Als we nu kijken naar objecten die heel ver weg staan, dan zien we deze toen het heelal nog relatief jong was. We kunnen dus terug in de tijd te kijken doordat de snelheid van het licht eindig is.

Omdat de objecten in het vroege heelal erg ver weg staan is afstand geen handige maat meer om mee te meten. In plaats daarvan gebruiken we roodverschuiving die we aanduiden met z . Sterrenstelsels die heel dichtbij staan hebben $z \sim 0$ en hoe verder weg iets staat des te groter de roodverschuiving zal zijn. De liniaal in Fig. 8.3 illustreert hoe de roodverschuiving samenhangt met de leeftijd van het heelal. Op $z = 1$ bijvoorbeeld, was het heelal iets minder dan de helft van zijn huidige leeftijd.

Als we zeggen dat we clusters van sterrenstelsels willen bestuderen voor de gehele geschiedenis van het heelal, dan betekent dat dus dat we dat op elke roodverschuiving willen doen. Om dit te doen moeten we eerst clusters van sterrenstelsels vinden. Dit kan op verschillende manieren. Clusters van sterrenstelsels bevatten een grote hoeveelheid heet gas dat röntgenstraling uitzendt. Het vinden van röntgenstraling is dus een goede indicator voor de aanwezigheid van een cluster. Ook wordt er vaak gezocht naar concentraties van rode sterrenstelsels aan

de hemel, want zoals we al gezien hebben, clusters van sterrenstelsels hebben veel rode sterrenstelsels. Deze methodes zijn echter alleen effectief tot $z \sim 1.5$. Er is dus een groot gebrek aan clusters tijdens de eerste 4 miljard jaar van het heelal. Dit is jammer omdat clusters gedurende deze periode nog aan het vormen zijn en er zich dus mogelijk een hoop belangrijke processen afspelen. Om (de voorlopers van) clusters van sterrenstelsels te vinden zal er dus een andere methode gebruikt moeten worden.

Radiosterrenstelsels en protoclusters

Een veel gebruikte methode om de voorlopers van hedendaagse clusters te vinden is door te focussen op zogenaamde ‘high- z radio galaxies’ of hoge roodverschuiving radiosterrenstelsels (HzRGs). Zoals de naam al impliceert zijn dit speciale sterrenstelsels die op hoge roodverschuiving staan ($z > 2$). Daar komt bij dat ze zeer veel radiostraling uitzenden en dus zelfs op hele grote afstanden makkelijk zijn te identificeren. De radiostraling wordt geproduceerd door een superzwaar zwart gat dat zich in het centrum van een dergelijke radiosterrenstelsel bevindt. Als er materie op het zwarte gat valt, dan komt er een grote hoeveelheid energie en straling vrij. Dit wordt vaak ook ‘AGN feedback’ genoemd.

Een belangrijke eigenschap van deze HzRGs is dat ze een grote massa hebben van $\sim 10^{11} - 10^{12}$ maal de massa van de zon. Dit is vergelijkbaar met de massa van ons eigen Melkwegstelsel, maar de HzRGs hebben veel minder tijd gehad om zo massief te worden. Dus ondanks dat de HzRGs relatief jong zijn, bevatten ze een zeer groot aantal sterren. Dit is belangrijk omdat we denken dat sterrenstelsels zich hiërarchisch vormen. Dit betekent dat kleine sterrenstelsels als eerste vormen en deze smelten vervolgens samen om de grotere, massievere sterrenstelsels te vormen. Om zeer massieve sterrenstelsels, zoals de HzRGs, te vormen is het dus logisch dat er een groot aantal kleinere stelsels aanwezig moet zijn. Oftewel, rondom HzRGs verwachten we een hoge dichtheid aan sterrenstelsels. Dit betekent dus dat HzRGs zich misschien middenin vormende clusters bevinden. Omdat deze clusters nog aan het vormen zijn worden ze ook wel ‘protoclusters’ genoemd.

Dit idee is al eerder getest en het blijkt dat veel HzRGs zich inderdaad in protoclusters bevinden. Dus door de omgeving van HzRGs te bestuderen kunnen we een hoop leren over vormende clusters van sterrenstelsels. Verder kunnen we de eigenschappen van de sterrenstelsels in de protoclusters vergelijken met de eigenschappen van de sterrenstelsels in het veld. Dit geeft mogelijk een hoop informatie over wanneer de invloed van de omgeving duidelijk wordt en welk fysische processen hier verantwoordelijk voor zijn. En omdat HzRGs zo massief zijn, zijn ze uitstekende kandidaten om later cD sterrenstelsels te worden. Door HzRGs te bestuderen kunnen we dus mogelijk ook veel leren over hoe deze extreme stelsels zich vormen.

Dit proefschrift

De afgelopen vier jaar hebben we, met behulp van meerdere grote telescopen, een aantal HzRGs en hun omgevingen in detail bestudeerd. We hebben nieuwe protoclusters geprobeerd te identificeren en geprobeerd meer te weten te komen over reeds bekende protoclusters. De resultaten van dit onderzoek worden in dit proefschrift gepresenteerd.

In **hoofdstuk 2** presenteren we resultaten van één van de meest bestudeerde HzRGs: de Spiderweb galaxy. Deze HzRG bevindt zich in een protocluster en is omgeven door kleine sterrenstelsels. Of deze kleine stelsels daadwerkelijk in de protoclusters liggen, is onbekend. Met behulp van waarnemingen genomen met het SINFONI instrument laten wij zien dat veel van de kleine stelsels in de kern van de protocluster zich inderdaad in de protocluster bevinden. Dit betekent dat de kern van de protocluster een erg hoge dichtheid heeft. We meten ook de snelheden van de stelsels ten opzichte van elkaar en vinden een brede snelheidsverdeling met twee pieken. Deze verdeling kan moeilijk verklaard worden door de aanwezigheid van één structuur, maar een interactie tussen twee kleine protoclusters kan de waarnemingen wel verklaren. Gezien de bijzondere aard van de Spiderweb galaxy speculeren wij dat de interactie de centrale HzRG mogelijk beïnvloedt. Dit zou betekenen dat zulke interacties een belangrijke rol spelen in de vorming van cD sterrenstelsels.

In **hoofdstuk 3** bestuderen we de protocluster rond HzRG MRC 0316-257 (0316) door sterrenstelsels te selecteren die zich mogelijk in de protocluster bevinden. We selecteren zowel een groep van blauwe, stervormende stelsels, als een groep rode stelsels waar stervorming mogelijk gestopt is. De dichtheid van blauwe stelsels is hoger dan in het veld wat meer bewijs is voor het bestaan van een protocluster. De dichtheid van rode stelsels is echter hetzelfde als in het veld. Dit komt waarschijnlijk doordat de selectiemethode niet nauwkeurig genoeg is. We vergelijken de eigenschappen van de blauwe stelsels in ons veld met resultaten uit de literatuur. Er lijken geen verschillen te zijn in termen van massa en stervormingssnelheid. Er is echter wel een indicatie dat binnen de protocluster de meest massieve en meest actief stervormende stelsels zich in het centrum, dichtbij de HzRG, bevinden. Dat is een indicatie dat de omgeving de sterrenstelsels beïnvloedt.

Hoofdstuk 4 is een vervolgstudie gebaseerd op de resultaten van **hoofdstuk 3**. In dit hoofdstuk proberen we van een aantal sterrenstelsels te bepalen welke zich daadwerkelijk in de protocluster bevinden. We vinden dat drie sterrenstelsels zich in de protocluster bevinden, terwijl vijf andere stelsels in een mogelijke tweede protocluster liggen die zich direct vóór de eerste bevindt. We laten zien dat, in tegenstelling tot de resultaten van **hoofdstuk 2**, deze twee protoclusters ongerelateerd zijn. Ook onderzoeken we of er verschillen zijn tussen de stelsels in het veld en in de twee protoclusters. We vinden aanwijzingen dat de stelsels in de 0316 protocluster mogelijk minder stof hebben dan de veldstelsels. Ook lijkt het dat de stelsels in de voorgrondcluster verschillen van de stelsels in de 0316 protocluster. Wat het verschil veroorzaakt tussen de twee protoclusters is nog onbekend,

maar het wijst erop dat de omgeving invloed heeft gehad op de sterrenstelsels in de protoclusters.

In **hoofdstuk 5** gebruiken we het nieuwe OSIRIS instrument op de recent in gebruik genomen Gran Telescopio Canarias om te onderzoeken of de HzRG 6C014+326 op $z \sim 4.4$ zich in een protocluster bevindt. Hiervoor gebruiken we een relatief nieuwe techniek die gebruik maakt van verstelbare smalle filters. We vinden dat er zich relatief veel sterrenstelsels dichtbij de HzRG bevinden. De verdeling in roodverschuiving duidt ook op een concentratie van stelsels dichtbij de HzRG. Deze verdeling wijkt significant af van wat we zouden verwachten als er geen protocluster zou zijn. We concluderen dus dat er een protocluster is rondom de HzRG. Dit laat ook zien dat deze nieuwe techniek een goede manier is om protoclusters rond andere HzRGs te identificeren.

In **hoofdstuk 6** worden twee HzRGs onderzocht met behulp van data genomen met het nieuwe WFC3 instrument op de Hubble Space Telescope. De twee HzRGs zien er complex uit met meerdere componenten. Door het licht van de HzRGs te ontleden in verschillende componenten vinden we dat de ongebruikelijke vorm grotendeels verklaard kan worden door oplichtende nevels en gereflecteerd licht van het centrale zwarte gat. Het licht komt dus waarschijnlijk niet van sterren. De sterren bevinden zich namelijk in een compacte centrale component die vergelijkbaar is in grootte met andere massieve sterrenstelsels. Ook is er geen bewijs dat de omgevingen van deze twee HzRGs protoclusters bevatten. We concluderen dat sommige HzRGs dus in principe niet veel afwijken van andere massieve sterrenstelsels op hoge roodverschuiving en dat het verschil in verschijning tijdelijk is en veroorzaakt wordt door de straling van het centrale zwarte gat.

Hoofdstuk 7 is een appendix waarin we kort een aantal resultaten laten zien die met behulp van de SINFONI data van de Spiderweb galaxy zijn behaald. Deze appendix dient als inspiratie voor toekomstig onderzoek.

