



Universiteit
Leiden
The Netherlands

The alignment of galaxies across all scales

Georgiou, C.

Citation

Georgiou, C. (2019, December 12). *The alignment of galaxies across all scales*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/81574>

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/1887/81574>

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/1887/81574>

Author: Georgiou, C.

Title: The alignment of galaxies across all scales

Issue Date: 2019-12-12

Nederlandse samenvattig

De interesse in het onderwerp kosmologie is de afgelopen decennia sterk toegenomen, dankzij een toename in de kwaliteit van sterrenkundige data en in de precisie waarmee we statistische, waarneembare grootheden in het universum kunnen meten. Er is een uitgebreid model ontwikkeld van de fysieke processen die de evolutie van het universum bepalen, samengevat in het standaardmodel van de kosmologie, dat met succes steeds preciezere, onafhankelijke sterrenkundige waarnemingen heeft kunnen beschrijven.

De grootste nog onbeantwoorde vragen binnen het standaardmodel van de kosmologie hebben betrekking tot donkere materie en donkere energie, componenten die $\sim 95\%$ van de energiedichtheid in het huidige universum voorstellen. De eerste versnelt de vorming van structuren terwijl de tweede dat juist vertraagt. Enkele van de kernvragen rond deze mysterieuze onderdelen van het universum zijn: hoeveel donkere materie is er, en hoe sterk clustert het (vastgelegd in de kosmologische parameter S_8)? Zit er spanning in de S_8 -parameter in sterrenkundige waarnemingen op hoge en lage roodverschuiving? Wat is de toestandsvergelijking van donkere energie (geparametriseerd door w)? Is het een kosmologische constante, of verandert het met tijd?

Om een licht te werpen op deze vragen, zijn waarneemtechnieken nodig die gevoelig zijn voor donkere materie en donkere energie. Eén zo'n techniek is zwakke lenswerking door zwaartekracht: de vervorming van lichtbronnen (bijv. sterrenstelsels in de achtergrond) door de dichtheid van materie tussen bron en waarnemer. De vervorming door zwaartekracht lenzen hangt af van de tussenliggende massa en de geometrie van het universum, waardoor het geschikt is

om donkere materie en donkere energie mee te bestuderen. Toekomstige onderzoeken naar zwakke lenswerking hebben als doel om de statistische precisie van lensmetingen sterk te vergroten. Dit betekent echter dat de systematische onzekerheid in de meting met zeer hoge nauwkeurigheid beheerst moet worden. De belangrijkste astrofysische systematische contaminatie komt door intrinsieke uitlijning, de uitlijning van de oriëntatie van sterrenstelsels naar het dichtheidsveld van materie. Intrinsieke uitlijningen voegen aan de data een vervormingspatroon toe dat niet wordt veroorzaakt door zwakke lenswerking en kunnen een significante verschuiving in metingen van kosmologische parameters veroorzaken, als er geen rekening mee wordt gehouden. In deze proefschrift wordt het signaal van intrinsieke uitlijning gemeten uit data vanaf de grond met ongekende beeldkwaliteit en getrouwheid van data, en wordt de afhankelijkheid van dit signaal van verschillende eigenschappen van sterrenstelsels bestudeerd. Deze kennis zal zowel bijdragen aan de ontwikkeling van preciezere modellen van het signaal door intrinsieke uitlijning als helpen het effect ervan op metingen van zwakke lenswerking beter te beperken, en zal zorgen dat de statistische kracht van toekomstige onderzoeken naar zwakke lenswerking volledig gebruikt kan worden.

Om het intrinsieke uitlijningssignaal van sterrenstelsels te meten, hebben we zowel informatie nodig over de afstanden van sterrenstelsels (d.w.z. roodverschuiving), om fysieke paren sterrenstelsels te identificeren die een interactie door zwaartekracht hebben, als diepe beeldgegevens van hoge kwaliteit, om de vorm van sterrenstelsels te bepalen en hun uitlijning te kwantificeren. In heel deze proefschrift zijn zeer nauwkeurige roodverschuivingen verkregen van het spectroscopische onderzoek *Galaxy And Mass Assembly* (GAMA). De grote volledigheid van dit onderzoek zorgt ervoor dat informatie over roodverschuiving beschikbaar is voor de overgrote meerderheid van ons monster sterrenstelsels, zelfs voor sterrenstelsels die dicht bij elkaar staan aan de hemel, en zorgt dat het uitlijningssignaal robuust kan worden gemeten van grote tot kleine schalen. De vorm van sterrenstelsels wordt gemeten met beelddata van de *Kilo Degree Survey*, een onderzoek specifiek ontworpen voor analyse van zwakke lenswerking. Hierdoor zijn de beelddata diep, met geringe artefacten door de optiek van de telescoop en de atmosfeer van de aarde (gekwantificeerd door de *point-spread function* of PSF). De vormmeting wordt gedaan met behulp van de *DEIMOS*-methode, die afhankelijk is van het meten van gewogen oppervlakte-dichtheidsmomenten van sterrenstelsels en de ongewogen momenten benadert, en tegelijkertijd de PSF-effecten analytisch behandelt.

In **hoofdstuk 2** beginnen we door, aan de hand van deze dataset, de vorm van sterrenstelsels te meten in afbeeldingen die in drie verschillende breedband-

filters (g , r en i) zijn genomen. Het intrinsieke uitlijningssignaal van ons monster sterrenstelsels blijkt sterker in metingen in de g - en i -banden dan in de r -band. Dit verschil komt voornamelijk voor uit rode satellietstelsels en is alleen zichtbaar op kleine schalen, minder dan een paar Mpc/ h . Een mechanisme dat dit verschil mogelijk kan verklaren is de oorsprong van intrinsieke uitlijningen in de getijdewerking, samen met de kleurgradiënten van sterrenstelsels: de uiterste regionen van sterrenstelsels zijn gevoeliger voor getijdevelden en men zou verwachten dat intrinsieke uitlijningen een sterker effect hebben op deze uiterste schalen van sterrenstelsels dan op de binnenste regionen. Bovendien bouwen sterrenstelsels zich hiërarchisch op en zijn de binnenste regionen over het algemeen roder, met meer oude sterren dan in de buitengebieden. Waarnemingen op verschillende golflengtes kunnen dus mogelijk verschillende regionen van sterrenstelsels onthullen. Dit beeld wordt echter verder gecompliceerd ten opzichte van de gemeten breedbandfilters door de roodverschuiving van de spectrale energieverdeling van sterrenstelsels en de breuk op 4000 Å. Hoewel het ingewikkeld is om het verwachte verschil in uitlijning op verschillende golflengtes te voorspellen, is het duidelijk dat er interessante ontdekkingen gemaakt kunnen worden over de uitlijning van sterrenstelsels op kleine schalen.

We vervolgen de proefschrift in **hoofdstuk 3**, waarin we kijken naar het intrinsieke uitlijningssignaal waargenomen in de r -band, op grote schalen. Het doel is om een directe meting van het signaal te gebruiken, die gebruikt kan worden als a-priori informatie voor onderzoeken naar zwakke lenswerking, waardoor de limieten op kosmologische parameters verbeterd zullen kunnen worden. Hiervoor was het belangrijk dat we een representatief monster sterrenstelsels gebruikten, zo gelijk mogelijk aan het monster dat een onderzoek naar zwakke lenswerking zou gebruiken. We zagen dat intrinsiek rode sterrenstelsels een sterk uitlijningssignaal vertonen, terwijl blauwe sterrenstelsels een signaal consistent met nul vertonen; dit komt overeen met de bestaande literatuur. Met behulp van deze directe metingen van intrinsieke uitlijning voorspellen we dat onderzoeken naar zwakke lenswerking significant nauwkeurigere limieten op de S_8 -parameter kunnen stellen.

Daarna richten we ons op de uitlijning van sterrenstelsels op kleine schalen, waarbij we in **hoofdstuk 4** specifiek kijken naar groepen sterrenstelsels. We meten een significante radiale uitlijning van satellietstelsels ten opzichte van het centrum van de groep, dat op grote afstanden afvalt naar nul. Bovendien zien we dat de buitenste regionen van satellietstelsels (gepeild door de radiale gewichten te vergroten van de methode om vormen te meten) sterker uitgelijnd zijn dan de binnenste. Intrinsiek rode satellieten laten over het algemeen een sterkere uitlijning zien dan blauwe. Verder zijn de centrale sterrenstelsels in deze groepen

ook uitgelijnd met de verdeling van satellietstelsels, waarbij de buitendelen van de centrale stelsels sterker uitgelijnd zijn dan de binnendelen en rode centrale stelsels sterker dan blauwe. Deze metingen suggereren dat intrinsieke uitlijningen op kleine schalen over het algemeen complex zijn; de afhankelijkheden die hier zijn bestudeerd, kunnen worden gebruikt om de bestaande modellen van het uitlijningssignaal op deze kleine schalen af te stemmen en te verbeteren.

In **hoofdstuk 5** zoomen we verder in en bestuderen we de uitlijning van centrale sterrenstelsels met de donkere materiehalo waarin ze leven. Daartoe meten we het anisotropische zwakke lenswerkingssignaal rond een monster sterrenstelsels dat is geoptimaliseerd om weinig contaminatie van satellietstelsels te hebben. We stellen een limiet aan f_h , een parameter die gevoelig is voor zowel de relatieve ellipticiteit van de donkere materiehalo en het sterrenstelsel als hun gemiddelde afwijkingshoek. We zien dat rode centrale stelsels een niet-nul f_h hebben met een significantie van 2σ . De gemeten waarde van f_h neemt significant toe als we de lenswerkingsmeting herhalen met vormen van sterrenstelsels die gevoeliger zijn voor de buitendelen van het stelsel. Aangezien de gemiddelde ellipticiteit van de vormen van de binnen- en buitendelen van sterrenstelsels niet significant verschilt, concluderen we dat de buitenregionen van sterrenstelsels meer uitgelijnd zijn met hun donkere materiehalo dan de binnenste.