



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Galaxy alignments from multiple angles

Fortuna, M.C.

### Citation

Fortuna, M. C. (2021, November 25). *Galaxy alignments from multiple angles*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3243460>

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/1887/3243460>

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

## Nederlandse Samenvatting

Ons huidige begrip van het Heelal berust op de grote doorbraken van de vorige eeuw: de uitwerking van de Algemene Relativiteitstheorie, het postulaat van een “donkere”, onzichtbare materie om de spreiding in de waargenomen snelheden van sterrenstelsels in clusters te verklaren, net als de waargenomen rotatiesnelheid in de sterrenstelsels zelf, en ten slotte de ontdekking van de versnellende uitdijning van het Heelal. Theoretisch gezien zijn we nu in staat om de groei van structuur op grote schalen te verbinden met het vroege Heelal en om diverse waarnemingen op verschillende schalen en tijden te beschrijven met één enkel model. Dit model vereist het bestaan van twee “donkere” ingrediënten: donkere materie die de extra waargenomen zwaartekracht rondom sterrenstelsels verklaart en ook leidt tot het ontstaan van structuur, en donkere energie die de versnelde uitdijning veroorzaakt. De totale hoeveelheid energie in het Heelal bestaat voor meer dan 95% uit deze twee bestanddelen. Het is duidelijk dat niet-tegenstaande het succes van dit model, er een enorme open vraag resteert: wat is de ware aard van de twee voornaamste ingrediënten van het Heelal?

Naast de directe zoektocht naar het donkere materiedeeltje in het lab, kunnen we ook waarnemingen van het Heelal op grote schaal gebruiken om mogelijke afwijkingen van dit standaardmodel te onderzoeken. Specifiek willen we weten of donkere energie evolueert in de tijd, wat de vorming van structuur in verschillende tijdperken zou beïnvloeden, en ook of de zwaartekracht van de donkere materie te onderscheiden valt van een mogelijke aanpassing aan de Algemene Relativiteitstheorie. Hiervoor hebben we grootschalige waarnemingen nodig om met de enorme hoeveelheid data die zij leveren, mogelijke afwijkingen van het standaardmodel van de kosmologie met grotere statistische zekerheid te meten. Een grote precisie moet echter ook gepaard gaan met een grote nauwkeurigheid: we moeten mogelijke systematische fouten, zowel in de waarnemingstechnieken als in de interpretatie van de data, tot op een ongezien niveau begrijpen. Dit is

het voornaamste doel van deze thesis.

Zwakke zwaartekrachten zijn een van de krachtigste methodes om de donkere kant van het Heelal te onderzoeken. Lichtstralen volgen de lokale kromming van de ruimtetijd veroorzaakt door een nabije massaverdeling, wat resulteert in een gecorreleerde vervorming van de afbeelding van achterliggende sterrenstelsels. Uit deze vervorming kan de hoeveelheid donkere materie langs de gezichtslijn bepaald worden.

De interpretatie van dit signaal wordt bemoeilijkt door intrinsieke uitlijningen (*intrinsic alignment*, IA) van sterrenstelsels. Naburige sterrenstelsels hebben intrinsiek een gecorreleerde oriëntatie omdat ze ontstaan binnenin ophopingen van donkere materie, ook wel halo's genoemd, en onderhevig zijn aan de getijdenvelden van de omliggende massaverdeling. Dit laat een voorkeursoriëntatie na in de vorm van sterrenstelsels voordat hun licht doorheen de tussenliggende zwaartekracht lens naar ons propageert. Vanwege de correlatie tussen de verschillende overdichtheden die verantwoordelijk zijn voor het zwaartekrachtveld nabij de sterrenstelsels, is de uitlijning van de sterrenstelsels ook gecorreleerd, zowel op middelgrote als op grote schalen. Op kleine schaal is de uitlijning daarentegen het gevolg van de getijdenvelden binnenin de halo.

De intrinsieke uitlijning van sterrenstelsels is dus niet enkel een belangrijke bron van onzekerheid die zorgvuldig gemodelleerd moet worden: ze geeft ook een unieke blik op het vormingsproces van sterrenstelsels en de mogelijkheid om het verband tussen sterrenstelsels en hun donkere materie halo's te begrijpen.

In deze thesis focussen we op het begrip van hoe intrinsieke uitlijningen afhangen van de eigenschappen van sterrenstelsels om de variatie in de sterkte van het signaal in zwakke zwaartekracht lenzen te verklaren. We gebruiken waarnemingen om het uitlijningssignaal direct te bepalen voor specifieke deelverzamelingen van de data. We introduceren een enkel model dat de complexe afhankelijkheid van het uitlijningssignaal van de waargenomen sterrenstelseigenschappen meeneemt en de impact van het uitlijningssignaal op de waarnemingen kan voorspellen. Hier is een tweevoudige winst: enerzijds kan het model direct gerelateerd worden aan waarnemingen en zodoende kunnen zwaartekracht lens analyses waarden uit de literatuur gebruiken voor de a priori aannames van de parameters van het model, anderzijds kan de verwachte sterkte van het uitlijningssignaal in een specifieke dataset bepaald worden om simpele modellen een betere voorkennis te leveren over de beste a priori aanname voor de verwachte signaalsterkte.

We vatten de inhoud van de hoofdstukken van deze thesis samen.

In **Hoofdstuk 2** introduceren we een model dat de diversiteit van het IA-signaal van verschillende soorten sterrenstelsels kan beschrijven, inclusief de afhankelijkheid van hun morfologie (meegenomen via de kleur van de sterrenstelsels) en type (centraal of satelliet). Met dit model en een gesimuleerde populatie sterrenstelsels die de verdeling in kleur en type van de willekeurige dataset reproduceert, kan het IA-signaal voorspeld worden. We hebben deze methode toegepast op gesimuleerde zwakke gravitatieleenswaarnemingen en zo het totale IA-signaal en de schaalafhankelijkheid bestudeerd. We gebruiken dit gesimuleerde signaal om de impact van IA op huidige en toekomstige waarnemingen te voorspellen, met als specifieke interesse het onderzoeken of simplistische IA-modellen een systematische fout in de afgeleide kosmologische parameters introduceren. We concluderen dat dit effect verwaarloosbaar is voor huidige waarnemingen maar dat in de toekomst ten minste een effectieve roodverschuivingsafhankelijkheid moet meegenomen worden in simpele IA-modellen om de juiste kosmologie te bekomen.

In **Hoofdstuk 3** bepalen we de amplitude van het IA-signaal voor de heldere rode sterrenstelsels (*luminous red galaxies*, LRGs) van de vierde data-uitgave van de Kilo Degree Survey. We meten de vormen van de sterrenstelsels met twee verschillende methodes en vergelijken het resulterende IA-signaal om een mogelijke afhankelijkheid van de methode te onderzoeken. Beide methodes zijn in overeenkomst. Vervolgens onderzoeken we de lichtkrachtsafhankelijkheid van het signaal door de sterrenstelsels te groeperen volgens hun lichtkracht. In combinatie met voorgaande metingen in de literatuur, vinden we dat de afhankelijkheid goed beschreven kan worden met behulp van een functie met een dubbele machtsschaling. Bij lage lichtkracht hangt het signaal significant minder af van de lichtkracht dan voor heldere sterrenstelsels. We hebben de roodverschuivingsafhankelijkheid van het signaal onderzocht en vinden geen bewijs voor enige evolutie in het roodverschuivingsbereik  $0.2 < z < 0.8$ .

In **Hoofdstuk 4** gebruiken we de LRGs van Hoofdstuk 3 als lens voor achterliggende sterrenstelsels om hun totale massa te bepalen. We modelleren het signaal met een halo-model in combinatie met de voorwaardelijke lichtkrachtsfunctie (*conditional luminosity function*) om sterrenstelsels met donkere materiehalo's te verbinden. We groeperen de sterrenstelsels volgens

hun lichtkracht en beschrijven de vervorming door de zwaartekracht lens met één model. Hierdoor verkrijgen we de relatie tussen de massa en de lichtkracht van de LRGs die we gebruiken om het gemeten IA-sig naal in Hoofdstuk 3 te heranalyseren. De massa-afhankelijkheid van het IA-sig naal kan goed beschreven worden met een enkele machtsafhankelijkheid over een massabereik van meer dan drie ordes van grootte. We onderzoeken ook de neiging van naburige sterrenstelsels om in de richting van de LRG te wijzen: in dit geval meten we geen sig naal.

Ten slotte, in **Hoofdstuk 5**, bestuderen we de invloed van de vergroting van afbeeldingen door de zwaartekracht lens voor de Large Synoptic Survey Telescope (LSST). We onderzoeken of het meenemen van deze vergroting in een analyse van het clusteren van sterrenstelsels de bepaling van de kosmologische parameters kan verbeteren. We vinden slechts een klein effect. Daarnaast probeerden we ook de vergroting mee te nemen een gelijktijdige meting van het clusteren en het vervormingssig naal van de zwaartekracht lenzen aan verschillende delen van de hemel om zo de ijking van het vervormingssig naal te verbeteren. Ook in dit geval is de verbetering klein. Tot slot vinden we een significante systematische fout in het sig naal wanneer de vergroting niet wordt meegenomen in de analyse. We concluderen dus dat het cruciaal is om de vergroting mee te nemen in een kosmologische analyse om systematische fouten te voorkomen, maar dit leidt echter niet tot een grote verbetering in de precisie waarmee de kosmologische parameters bepaald kunnen worden.