



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Studying dark matter haloes with weak lensing

Velander, M.B.M.

Citation

Velander, M. B. M. (2012, June 20). *Studying dark matter haloes with weak lensing*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/19107>

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/1887/19107>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/19107> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Velandar, Malin Barbro Margareta

Title: Studying dark matter haloes with weak lensing

Issue Date: 2012-06-20

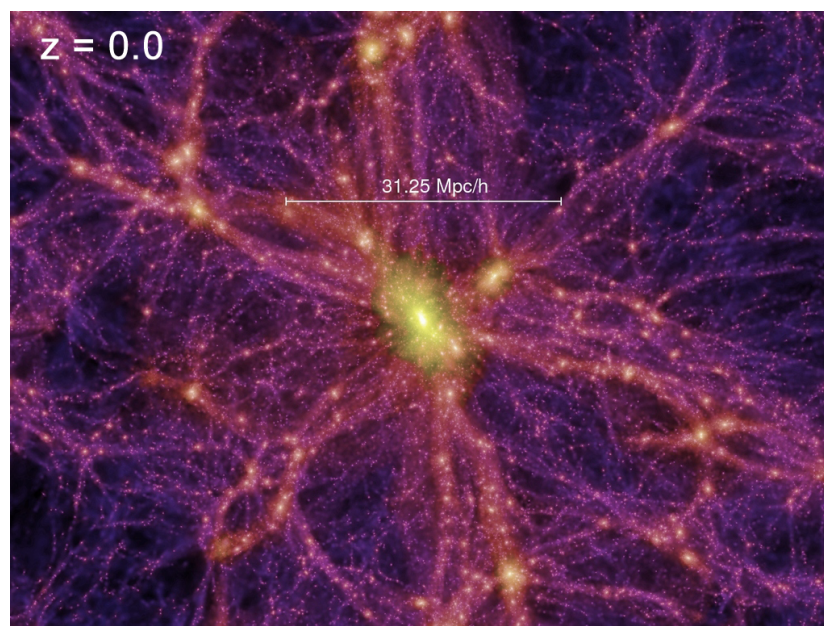
Nederlandse samenvatting

Donkere materie en kosmologie

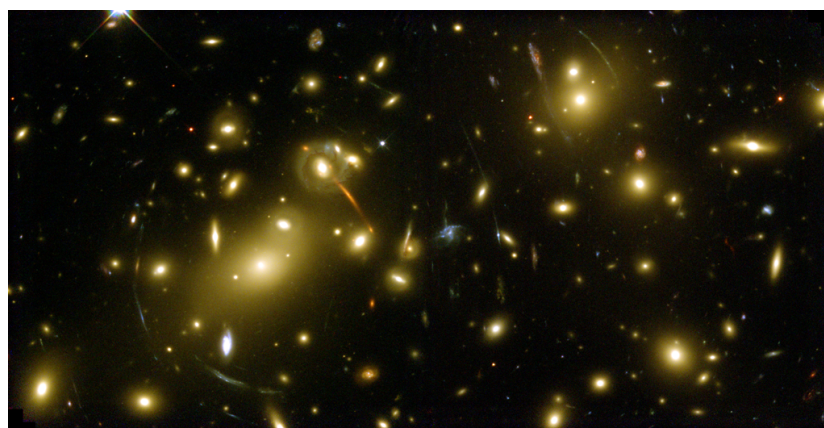
Het lijkt misschien verwonderlijk, maar de sterren en sterrenstelsels die we zien als we omhoog kijken zijn slechts een klein deel van waar ons universum werkelijk uit bestaat. Zelfs de meest geavanceerde telescopen op aarde of in de ruimte kunnen de echte massa die zich rondom alle bekende lichtbronnen bevindt niet direct waarnemen. Deze onzichtbare materie beïnvloedt echter door zijn zwaartekracht alles wat we zien, van onze eigen melkweg tot de rand van het universum, en dat is hoe we van het bestaan ervan af weten. Omdat het geen licht uitzendt of absorbeert kunnen we het niet ‘zien’ in de traditionele zin, en het heeft dan ook de naam *donkere materie* gekregen.

Kosmologie is de studie van de oorsprong en de ontwikkeling van het heelal. Aangezien donkere materie veel invloed heeft op dit proces vanaf het begin 13,7 miljard jaar geleden, zijn wij als kosmologen vooral geïnteresseerd in hoe het zich gedraagt in verschillende omgevingen. Simulaties die gebruik maken van alle ingewikkelde natuurkundige wetten die we tot nu toe hebben verzameld laten ons zien dat de donkere materie zich verdeelt in een netwerk van filamenten dat bekend staat als het *Kosmische Web* (zie Figuur 7.1). Wanneer de draden elkaar kruisen ontstaan grote concentraties, of *halo's*, van donkere materie waarin de sterren en sterrenstelsels zich verzamelen. Door observaties kunnen we kaarten met de verdeling van donkere materie maken, en door het vergelijken van deze kaarten met de voorspellingen van simulaties kunnen we bepalen of onze natuurkundige wetten juist zijn of niet.

Er zijn veel manieren om donkere materie te bestuderen, en verschillende technologieën worden gebruikt voor verschillende ruimte-omgevingen, maar een techniek die in de meeste gevallen kan worden toegepast is *zwakke zwaartekrachtlenwerking*. Zwaartekrachtlenzen gebruiken, zoals de naam al aangeeft, de zwaartekracht om het licht van sterrenstelsels in de verre achtergrond te buigen in een proces dat vergelijkbaar is met een gewone lens in, bijvoorbeeld, brillen. Een zwaartekrachtlens kan elke verzameling van massa zijn, zoals een cluster van sterrenstelsels, een enkel sterrenstelsel of zelfs maar een dun donker filament in het Kosmische Web. Wanneer de materie zeer geconcentreerd is, veroorzaakt die een ernstige verstoring van het beeld van de erachter gelegen sterrenstelsels. Dit resulteert in de prachtige bogen die men kan zien in het



Figuur 7.1 De voorspelling van de Millenniumsimulatie voor het heelal zoals het er vandaag uitziet, gemaakt door Volker Springel en zijn medewerkers. Wat we zien zijn de verbonden filamenten van het Kosmische Web, met een ophoping van donkere materie in het midden. De centrale concentratie komt overeen met een zeer rijk cluster van sterrenstelsels.



Figuur 7.2 Voorbeeld van een zwaartekracht lens: de rijke cluster van sterrenstelsels Abell 2218 afgebeeld door de ruimtetelescoop *Hubble Space Telescope* in 1999. Afbeelding: NASA/ESA, A. Fruchter en het ERO Team (STScI, ST-ECF).

cluster Abell 2218 (Figuur 7.2). Omdat een grotere massaconcentratie meer vervorming veroorzaakt, kunnen we door gebruik te maken van deze bogen afleiden waar de donkere materie zich bevindt. Wanneer de massaconcentratie laag is, hetgeen bijna overal het geval is, kunnen we zwakke vervormingen door

zwaartekrachtlenswerking, genoemd *shear*, gebruiken om statistisch te bepalen waar de donkere materie is. Dit is het regime waar de zwakke lenswerkingstechniek zich mee bezig houdt.

Met dit Proefschrift heb ik ernaar gestreefd om onze kennis over de verdeling van materie in sterrenstelsels en clusters van sterrenstelsels te vergroten, door zowel het ontwikkelen van de theoretische kant van de zwakke zwaartekrachtlenswerking, als door het gebruik van grote optische waarneemprogramma's om de zwakke zwaartekrachtlenswerkingseffect in de werkelijkheid te observeren. Ik zet mijn werk uiteen in de vier afzonderlijke maar verwante Hoofdstukken die hieronder worden samengevat.

Dit Proefschrift

Ik begin dit Proefschrift met een kort overzicht van de huidige status van kosmologie in Hoofdstuk 1, en beschrijf de verschillende manieren om meer te leren over het heelal als geheel. Dit Hoofdstuk bevat ook een gedetailleerdere kennisgeving met de zwakke zwaartekrachtlenswerking en de software die beschikbaar is om de zwakke vervormingen van de achtergrond sterrenstelsels te meten. Daarna volgen de Hoofdstukken waarin ik mijn onderzoek van de afgelopen vier jaar in detail beschrijf, waarvan sommige al zijn gepubliceerd in het tijdschrift *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (MNRAS). Ik vat hier deze Hoofdstukken samen.

Hoofdstuk 2: Een nieuwe vormmeting-techniek, en de toepassing ervan op sterrenstelsels met kleurgradiënten in de context van zwakke zwaartekrachtlenswerking waarneemprogramma's

Zwakke zwaartekrachtlenswerking, als een van de meest krachtige methoden van kosmologie, is de belangrijkste drijvende kracht achter de grootste optische waarneemprogramma's die gepland zijn in de nabije toekomst. De statistische aard van de methode vereist de analyse van een groot aantal achtergrond sterrenstelsels, en de minimale vervormingen vereisen waarnemingen van hoge kwaliteit en uiterst precieze vervormingsmetingen. Software voor de zwakke zwaartekrachtlenswerking techniek moet dus zowel snel als accuraat zijn, en zo'n software pakket wordt geïntroduceerd en getest in dit Hoofdstuk. Deze *MV pipeline* heeft bewezen zeer competitief te zijn, met extra voordeel de mogelijkheid om lensvervormingen van hogere orde dan shear, oftewel flexion, te meten. De tests beschreven in dit Hoofdstuk beslaan zowel monochromatische als niet-monochromatische simulaties, waarbij de laatste zijn opgenomen om het effect van een golflengte-afhankelijke puntspreidingsfunctie (PSF) veroorzaakt door de telescoop te bepalen. Aangezien de meeste sterrenstelsels kleurgradiënten hebben, met in de kern een andere kleur dan aan de buitenkant, heeft een golflengte-afhankelijke PSF en variërende invloed op verschillende delen van het waargenomen beeld van het sterrenstelsel. Hierdoor kan een bias worden geïntroduceerd wanneer niet precies voor de PSF kan worden gecorrigeerd. Door het creëren van simulaties op basis van werkelijke sterrenstelsels, waargenomen in twee verschillende filters, zien we dat de extra bias die wordt veroorzaakt door dit effect niet erger is dan de bias in de meetsoftware. Wij stellen uit onze tests vast dat als er voldoende trainingsgegevens beschikbaar zijn, we waarschijnlijk

het kleurgradiënteffect voldoende nauwkeurig kunnen karakteriseren om hiermee toekomstige onderzoeken, zoals de Euclid ruimtemissie, wiens lancering gepland staat voor 2019, te corrigeren.

Hoofdstuk 3: Studie van de galactische donkere materie halo's in het COSMOS onderzoek door middel van zwakke zwaartekrachtlenswerking flexion

De huidige theorieën van structuurvorming voorspellen dat sterrenstelsels ingebed zijn in uitgestrekte donkere materie halo's. Van deze halo's wordt verwacht dat zij een specifiek dichtheid profiel hebben, en met zwakke zwaartekrachtlenswerking kunnen we deze profielen meten op verschillende schalen. Op kleine schaal voegen de hogere-orde vervormingen, bekend als flexion, belangrijke informatie toe aan de zwakke zwaartekrachtlenswerking metingen. We presenteren in dit Hoofdstuk de eerste detectie van het flexionsignaal rond sterrenstelsels in data die in de ruimte is waargenomen. Het signaal is gemeten met de *MV pipeline*, geïntroduceerd en getest in Hoofdstuk 2. Wij combineren dit flexion-signaal met shear om het gemiddelde dichtheid profiel van sterrenstelsels in het Hubble Space Telescope COSMOS onderzoek nauwkeurig te bepalen. We tonen ook aan dat het licht uitgezonden door nabijgelegen lichtbronnen een aanzienlijk storend effect op flexion metingen kan hebben. Na correctie voor de invloed van het licht van de lens sterrenstelsels, tonen we aan dat het opnemen van flexion sterkere beperkingen geeft op de dichtheid profielen dan het gebruik van louter shear.

Hoofdstuk 4: De relatie tussen baryonen en de donkere materie halo's van sterrenstelsels in de CFHTLS bepaald met zwakke zwaartekrachtlenswerking

Omdat donkere materie halo's zo uitgebreid zijn is het belangrijk om ze zowel op grote als kleine schaal te onderzoeken om zo meer te leren over de invloed die donkere materie heeft op normale 'baryonische' materie, en vice versa. Zwakke zwaartekrachtlenswerking biedt de mogelijkheid om dit te doen omdat de technologie niet alleen bruikbaar is op verschillende schalen, maar ook omdat ze onafhankelijk is van de aard van de materie die onderzocht wordt. In dit Hoofdstuk presenteren we een studie van de algemene eigenschappen van donkere halo's van sterrenstelsels als functie van de eigenschappen van het sterrenstelsel dat ermee geassocieerd wordt, op basis van gegevens uit een van de grootste voltooide zwakke zwaartekrachtlenswerking waarneemprogramma's tot nu toe: CFHTLS. We verdelen de lens sterrenstelsels in een rode en een blauwe set en bevestigen dat er een duidelijk verband bestaat tussen de donkere halo-massa en de helderheid, en tussen halo-massa en stellaire massa. Deze relaties zijn verschillend voor blauwe en rode sterrenstelsels, en we vinden ook aanwijzingen dat blauwe sterrenstelsels zich in minder geclusterde omgevingen dan rode sterrenstelsels bevinden.

Hoofdstuk 5: Het beperken van cluster profielen door middel van zwakke zwaartekrachtlenswerking shear en flexion

Clusters van sterrenstelsels zijn belangrijk voor ons begrip van de kosmologie, omdat hun aantal als functie van massa en afstand van ons afhankelijk is van de

kosmologische parameters. De meerderheid van de massa van een cluster van sterrenstelsels is in de vorm van donkere materie. Om meer te leren over kosmologie willen we deze massa zorgvuldig bepalen, maar alleen zichtbare eigenschappen zijn beschikbaar. Zwakke zwaartekrachtlenswerking heeft, zoals reeds vermeld, de mogelijkheid om de dichtheid profielen van donkere halo's in kaart te brengen op zowel grote als kleine schalen. Om hiervan ten volle te profiteren, moeten de profielen van de donkere halo's zorgvuldig zijn gemodelleerd, zelfs als het centrum van het cluster niet nauwkeurig bekend is. In dit Hoofdstuk modelleren we de profielen die niet correct gecentreerd zijn voor zowel shear als flexion. We tonen ook dat de helling van de curve van de differentiële oppervlaktedichtheid kan worden verkregen door een eenvoudige combinatie van flexions. Deze flexions zijn gevoelig voor kleine lokale variaties in de dichtheid, waardoor ze een belangrijke aanvulling op shear zijn. Door middel van een reeks tests zien wij dat dit met name relevant is als het gaat om het bepalen van cluster profielen die niet correct gecentreerd zijn.