



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Probing the darkness : the link between baryons and dark matter

Velliscig, M.

Citation

Velliscig, M. (2015, November 11). *Probing the darkness : the link between baryons and dark matter*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/36109>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/36109>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/36109> holds various files of this Leiden University dissertation

Author: Velliscig, Marco

Title: Probing the darkness : the link between baryons and dark matter

Issue Date: 2015-11-11

Nederlandse Samenvatting

De meeste materie in ons Universum is donker. Deze donkere materie vormt de bouwsteen van de grootschalige, kosmische structuren, waarin sterrenstelsels leven. Door zijn botsingloze natuur is donkere materie namelijk beter in staat structuren te vormen dan normale (“baryonische”) materie. Deze structuren bestaan uit vlakken, filamenten en knopen, die samen ook wel het kosmisch web worden genoemd. Sterrenstelsels bewonen de centra van grotere “halo’s” van donkere materie. Deze halo’s zijn zelf niet zichtbaar en het licht uitgezonden door sterrenstelsels kan ons alleen iets vertellen over het binnendeel van deze halo’s.

In dit proefschrift trachten we meer over halo’s te weten te komen. Hiertoe maken we gebruik van kosmologische, hydrodynamische simulaties, waarin we niet alleen de donkere maar ook de zichtbare materie meenemen, alsmede alle processen die gedacht worden belangrijk te zijn voor de vorming en groei van sterrenstelsels. Dergelijke simulaties bieden ons de mogelijkheid om het verband tussen zichtbare en donkere materie te verkennen, aangezien beide componenten tegelijk en zelfconsistent worden gesimuleerd.

In waarnemingen kan dit verband onderzocht worden door gebruik te maken van zwaartekrachtlenzen. De werking van dergelijke lenzen is gebaseerd op de afbuiging van fotonen (lichtdeeltjes) wanneer deze door een zwaartekrachtspotentiaal reizen. Zodoende ondervindt licht dat van ver in het heelal naar ons toe reist, onderweg verschillende kleine afbuigingen. Als gevolg hiervan zien wij het beeld van de bron als verplaatst, vergroot en verstoord. Het zwaartekrachtlenseffect kan gebruikt worden om verschillende eigenschappen van (materie in) het Universum te meten, waaronder de totale massa en het massaprofiel van halo’s, de vormen van halo’s, de efficiëntie van de vorming van sterrenstelsels en uiteindelijk ook de fundamentele kosmologische parameters van ons Universum. Door gebruik te maken van kosmologische, hydrodynamische simulaties kunnen we ook mogelijke effecten onderzoeken die ons ervan weerhouden om zwaartekrachtlenzenwerking te gebruiken om de fundamentele eigenschappen van de structuren waaruit ons Universum is opgebouwd, te meten.

6.1 Dit Proefschrift

Aangezien de meeste materie donker is en donkeremateriedeeltjes niet botsen, zou het mogelijk moeten zijn om met uitsluitend deeltjes die alleen maar zwaartekracht ondervinden het Universum te simuleren en tegelijkertijd toch ruwweg de juiste eigenschappen van halo’s en de grootschalige structuren af te leiden. Dergelijke simulaties noemen we “N-body” simulaties. Voor veel doeleinden is de achterliggende aanname dat andere fysische processen betrokken bij de vorming van sterrenstelsels de verdeling van materie nauwelijks beïnvloeden redelijk. Deze benadering is bijvoorbeeld geldig aan de rand van clusters van sterrenstelsels, waar het aanwezige gas zeer langzaam koelt en ongeveer de verdeling van de donkere materie volgt. Echter, op - kosmisch gezien - kleine schaal en in minder massieve halo’s, waar gas hoge dichtheden kan bereiken door koeling, kunnen baryonische processen zoals galac-

tische winden de verdeling van materie wel degelijk beïnvloeden. Dit verandert indirect ook de verdeling van de donkere materie, die zichzelf bijstelt naar de aangepaste zwaartekrachtspotential.

In **Hoofdstuk 2** vergelijken we de eigenschappen van halo's in N-body simulaties met die van dezelfde halo's in hydrodynamische simulaties. We kijken specifiek naar het effect van baryonische processen die nodig zijn voor de vorming en groei van realistische sterrenstelsels, op de massa's en profielen van halo's, en als gevolg daarvan op de hoeveelheid halo's per eenheid volume als functie van massa. We laten zien dat de uitdrijving van gas veroorzaakt door het exploderen van sterren als supernovae, en de daarop volgende uitbreiding van de donkere materie, de massa's van halo's kunnen verlagen, in vergelijking met dezelfde halo's gesimuleerd met alleen zwaartekracht. Dit effect kan oplopen tot 20% voor halo's met sterrenstelsels kleiner dan de Melkweg. Voor halo's met zwaardere sterrenstelsels tot aan clusters van sterrenstelsels begint het effect van actieve kernen (AGN) te domineren. De aangroei van gas in deze kernen en de daarop volgende krachtige uitstoting van energie in de vormen van jets kan grote hoeveelheden gas verplaatsen en voorkomen dat kouder gas aan de rand van het sterrenstelsel naar het centrum koelt. Baryonische fysica verandert ook de totale massa-profielen van halo's tot ver buiten wat doorgaans als de rand van halo's wordt beschouwd. Dit effect kan alleen worden gemodelleerd door de algemeen gebruikte profielen van halo's aan te passen. De afname van de totale massa van de halo veroorzaakt een afname in de relatieve hoeveelheid halo's, voor een gegeven massa, van ongeveer 20%. De analyse die we presenteren in **Hoofdstuk 2** toont aan dat baryonische processen de eigenschappen van donkere-materiehalo's significant kunnen wijzigen. Het is daarom essentieel om dergelijke processen mee te nemen in simulaties die een theoretische onderbouwing trachten te geven aan waarnemingen van de totale massa van halo's. Dit resultaat impliceert sterk dat men kosmologische, hydrodynamische simulaties nodig heeft om de eigenschappen van halo's te onderzoeken.

De zwaartekrachtlenwerking biedt ons een manier om donkeremateriehalo's te detecteren in waarnemingen. Binnen deze context dienen kosmologische hydrodynamische simulaties als een hulpmiddel om mogelijke beperkingen van deze methode te bestuderen en te verhelpen. Een van de mogelijke valkuilen bij het meten van de vormen van halo's door middel van het zwaartekrachtlenseffect is de discrepantie tussen de oriëntaties van de halo's en de sterrenstelsels die ze huisvesten. De vorm van de halo van een sterrenstelsel op de voorgrond wordt bepaald door te kijken naar hoe de afbuiging van het licht van sterrenstelsels op de achtergrond verschilt langs de lange of de korte as van het voorgrondstelsel. Omdat dit effect te zwak is om direct te meten voor een enkel sterrenstelsel, analyseert men het signaal voor vele sterrenstelsels tegelijk. Dit kan door alle sterrenstelsels op de voorgrond zo te oriënteren dat hun lange assen uitgelijnd zijn, onder de aanname dat deze overeenkomen met de lange assen van hun halo's. Hierdoor kan een eventuele discrepantie tussen de oriëntaties van halo's en hun sterrenstelsels de meting van de vorm negatief beïnvloeden.

Deze discrepantie is verder interessant om te bestuderen om meer te weten te komen over de intrinsieke correlaties tussen de vormen en oriëntaties van sterrenstelsels, tegenover de extrinsieke correlaties veroorzaakt door het zwaartekrachtlenseffect. De meeste theorieën in dit veld doen voorspellingen omtrent deze intrinsieke correlaties voor donkere materie. Om deze voorspellingen te kunnen vergelijken met waarnemingen moet het verband tussen de oriëntaties van sterrenstelsels en hun halo's dus bekend zijn. De intrinsieke correlaties tussen de vormen en oriëntaties van sterrenstelsels zijn een last voor onderzoeken gebaseerd op het zwaartekrachtlenseffect en moeten achterhaald worden voordat ze in acht genomen kunnen worden.

In **Hoofdstuk 3** bestuderen we de correlaties tussen de oriëntaties van sterrenstelsels en hun halo's. We maken hiervoor gebruik van vier hydrodynamische simulaties met verschil-

lende volumes om zo vier ordes van magnitude in massa te kunnen beslaan, van sterrenstelsels tot aan clusters van sterrenstelsels. Onze bevindingen zijn dat de oriëntaties van sterrenstelsels als geheel goed overeenkomen met de locale materieverdeling, maar dat de oriëntatie van de verdeling van sterren een significante discrepantie vertoont met die van hun halo's. Deze discrepantie is kleiner in de meest massieve halo's. Dit impliceert dat de oriëntatie van sterrenstelsels alleen op vergelijkbare schaal een goede indicator is van de oriëntatie van de donkere materie. Op grotere schaal is er een significante discrepantie tussen de twee oriëntaties, waar onderzoeken die gebruik maken van de (zwakke) zwaartekrachtlenswerking rekening mee moeten houden.

Zoals eerder vermeld kunnen metingen via het zwaartekrachtlenseffect negatief beïnvloed worden door de intrinsieke correlatie tussen de vorm en oriëntatie van sterrenstelsels, wat men de intrinsieke uitlijning van sterrenstelsels noemt. De verstoringen veroorzaakt door getijdenkrachten (die een *intrinsieke* uitlijning teweeg brengen) zijn niet noodzakelijk verwaarloosbaar in vergelijking met de verstoringen door het lenseffect (vaak de *schijnbare* uitlijning genoemd). In **Hoofdstuk 4** doen we verslag van de intrinsieke uitlijning van sterrenstelsels zoals gemeten in hydrodynamische, kosmologische simulaties. We richten ons specifiek op de correlatie tussen de oriëntatie van lange as van een sterrenstelsel en de richting van een nabij sterrenstelsel (oriëntatie-richting) en de correlatie tussen de oriëntaties van de lange assen van beide stelsels (oriëntatie-oriëntatie). We vinden dat deze correlaties statistisch gezien zwakker zijn als de sterrenstelsels verder uit elkaar staan. Er is echter een kleine, maar significante, correlatie als deze afstand 100 maal zo groot is als de typische grootte van de halo's. De correlaties nemen significant af als we de oriëntaties berekenen met waarden voor de groottes van de sterrenstelsels die beter observationeel te verantwoorden zijn. Dit verschil kan verklaren waarom voorgaande onderzoeken vaak sterker gecorreleerde uitlijningen van sterrenstelsels rapporteren in simulaties dan in waarnemingen. Men moet vooral voorzichtig zijn met de definitie die men kiest voor de grootte van de sterrenstelsels in simulaties in vergelijking tot waarnemingen, aangezien dit kan resulteren in sterk uiteenlopende correlaties. De oriëntatie-oriëntatie correlatie is altijd zwakker dan de oriëntatie-richting correlatie, wat impliceert dat de uitlijning van sterrenstelsels voornamelijk bepaald wordt door de posities van nabije halo's, waar de gezamenlijke oriëntaties van nabije sterrenstelsels slechts een indirect gevolg van is.

Door via de zwaartekrachtlenswerking de typische halomassa's van een collectie sterrenstelsels te meten, kunnen de massa's en massaprofielen van halo's aan hun sterinhoud verbonden worden. Dit kan uiteindelijk leiden tot nieuwe inzichten betreffende de efficiëntie van de vorming van sterrenstelsels, wat bepaalt hoeveel sterren vormen in een halo van een gegeven massa. In **Hoofdstuk 5** doen we verslag van ons onderzoek naar de zwaartekrachtlenswerking tussen sterrenstelsels in de hydrodynamische, kosmologische simulatie EAGLE. We vergelijken de resultaten van simulaties met het waargenomen signaal, dat afgeleid is uit data van KiDS en GAMA. De groepscatalogus van GAMA biedt ons de mogelijkheid om onderscheid te maken tussen de aandelen van centrale stelsels en satellietstelsels aan het totale signaal. Het voorspelde lenssignaal van EAGLE komt in het algemeen goed overeen met de waarnemingen. We vinden een goede overeenkomst voor zowel de centrale stelsels als de satellietstelsels. Als we beide groepen sterrenstelsels los van elkaar analyseren, verslechtert deze overeenkomst. Dit komt doordat het totale lenssignaal een lineaire combinatie is van het signaal van de centrale stelsels en dat van de satellietstelsels met het relatieve aantal satellietstelsels als coëfficiënt. Dit relatieve aantal blijkt altijd lager te zijn in de EAGLE simulatie dan in de GAMA groepscatalogus.

