



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Cosmic tomography with weak gravitational lensing

Li, S.S.

Citation

Li, S. S. (2023, October 25). *Cosmic tomography with weak gravitational lensing*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3645974>

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/1887/3645974>

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

Nederlandstalige samenvatting

Het vaststellen van de fundamentele natuurkunde wetten die het ontstaan en de ontwikkeling van het universum beschrijven, is een van de belangrijkste prestaties van het kosmologisch onderzoek uit de twintigste eeuw. De theoretische en observationele vooruitgangen die in het veld zijn geboekt, zijn werkelijk exceptioneel. Het standaard kosmologische model, het ongekromde Λ ‘Cold Dark Matter’ (Λ CDM) model, dat slechts van zes vrije parameters afhangt, kan met indrukwekkende nauwkeurigheid diverse kosmologische sleutelobservaties voorspellen, zoals de uitdijning van het heelal, de metingen van de kosmische achtergrondstraling, en de verdeling van materie binnen de grootschalige structuren van het universum.

Ook in de 21e eeuw blijft het vakgebied van de kosmologie zich ontwikkelen. Vooruitgangen in observationele technieken gaan gepaard met verbeteringen in de modellen om de steeds nauwkeurigere metingen accuraat te interpreteren. De verbeteringen van verschillende kosmologische metingen, die mogelijk gemaakt worden door moderne technologieën, leiden tot een ongekende precisie in onze voorspellingen. Deze vooruitgang biedt een unieke kans om de mysteries rondom sommige essentiële elementen van het huidige kosmologische model, zoals de oorsprong van initiële dichtheidsfluctuaties en raadselachtige aard van donkere materie en energie, te ontrafelen. Echter, de technische ontwikkelingen gaan gepaard met de uitdagende taak om diverse systematische effecten, die te maken hebben met bijvoorbeeld observationele omstandigheden, onder controle te houden. Het implementeren van strategieën om deze systematische effecten meester te zijn, en zo het volledige potentieel van de metingen te benutten, is en blijft een centraal onderwerp binnen de kosmologie van de 21e eeuw.

Een veelbelovende maar uitdagende methode om kosmologische modellen mee te testen is de zwakke gravitatielenswerking. Volgens de algemene relativiteitstheorie wordt het licht van verre sterrenstelsels afgebogen door de zwaartekrachtsvelden die veroorzaakt worden door de materie in het universum. Het meten van kleine maar coherente vervormingen van de afbeeldingen van sterrenstelsels geeft ons hierdoor een directe kijk op de verdeling van materie in de grootschalige structuren van het universum, of in individuele massieve objecten, zoals groepen van sterrenstelsels of clusters. Echter, in de praktijk wordt het robuust meten van deze door lenswerking geïnduceerde vervormingen bemoeilijkt door soortgelijke vervormingen die veroorzaakt kunnen worden door meetomstandigheden en instrumentatie. De metingen worden verder bemoeilijkt doordat de analyse sterk afhangt van de afstanden tot de sterrenstelsels, iets wat in de praktijk lastig nauwkeurig te meten valt voor grote groepen sterrenstelsels.

Zelfs met accurate metingen van de zwakke lenswerking, is het extraheren van de kosmologische informatie uit deze signalen niet triviaal. De interferentie wordt bovendien bemoeilijkt door de intrinsieke oplijning van sterrenstelsels en door de precieze invloed van supernova's en superzwarte zwarte gaten op de verdeling van materie in het universum.

Deze thesis richt zich op de bijdrage van verschillende systematische effecten binnen zwakke zwaartekracht lenswerking analyses. In het bijzonder kijken we naar de invloed van deze effecten op het afleiden van kosmologische parameters en het onderzoeken van de eigenschappen van donkere materie halo's. Ons primaire doel is om de nauwkeurigheid en kallibratie van de zwakke gravitatielens analyses te verbeteren door de inferentiestappen kritisch te onderzoeken met behulp van consistentie en gevoeligheidstests. Daarnaast streven we ernaar om ons begrip van de relatie tussen donkere materie halo's en hun sterrenstelsels te verbeteren. Deze relatie is niet alleen cruciaal voor accurate kosmologische inferenties, maar ook voor het vergroten van ons begrip wat betreft de vorming en evolutie van sterrenstelsels.

In **Hoofdstuk 2** voeren we een consistentietest uit voor de zwakke zwaartekracht lenswerking analyse met Kilo-Degree Survey (KiDS) metingen. We verdelen de achterliggende sterrenstelsels op basis van hun kleuren en we beoordelen de robuustheid van de huidige KiDS resultaten ten opzichte van het verwerken van subgroepen van sterrenstelsels met verschillende eigenschappen. Onze resultaten bevestigen dat de huidige KiDS analyse op een correcte manier rekening houdt met systematische onzekerheden. Echter, we identificeren een correlatie tussen IA-parameters en parameters die horen bij de roodverschuivingskalibratie. Deze correlatie onderschrijft de noodzaak voor verbeterde IA-modellen voor toekomstige analyses. We vinden dat de consistentietest die we gebruiken ongevoelig is voor het aangenomen kosmologische model, waardoor deze bijzonder geschikt is om de robuustheid van zwaartekracht lens effect analyses te verzekeren voordat de metingen gebruikt worden om enige kosmologische conclusies te trekken.

Hoofdstuk 3 introduceert een reeks multi-band beeldsimulaties voor de kalibratie van de KiDS zwakke gravitatielensanalyse. Deze nieuwe simulaties maken een gezamenlijke kalibratie van het gravitatielenseffect en de roodverschuiving metingen mogelijk, wat de correctheid en nauwkeurigheid ten opzichte van eerdere analyses vergroot. Door de simulaties te combineren met hoogwaardige afbeeldingen van verre sterrenstelsels, genereren we een grote set aan gesimuleerde sterrenstelsels met eigenschappen die overeenkomen met de metingen. We verbeteren de accuraatheid van de afbeeldingen door zorgvuldig verschillende observationele en instrumentele effecten mee te nemen, zoals achtergrondruis, de punt-spreidingsfunctie (PSF), en de sterdichtheid.

Verder bestuderen we meng-effecten op verschillende roodverschuivingen door variabele zwakke zwaartekracht lens velden in de simulaties te introduceren. Onze studie laat een correlatie tussen het gravitatielenseffect en roodverschuivingsfouten zien als gevolg van meng-effecten. Deze correlatie geeft het belang van de gezamenlijke kalibratie aan. We identificeren ook een kleine maar niet verwaarloosbare invloed van PSF-modelleringsfouten op de gravitatielenseffect metingen. Met behulp van gevoeligheidstests bevestigen we de robuustheid van het vormmetingsalgoritme binnen

de vereisten van de huidige KiDS zwakke gravitatielensanalyse. Toekomstige zwakke zwaartekrachtlensonderzoeken, met strengere vereisten, raden we aan om verdere studies naar meng-effecten, verbeteringen van PSF-modellering, en vormmetingstechnieken uit te voeren om de gevoeligheid voor verschillen in sterrenstelsel eigenschappen te verminderen.

In **Hoofdstuk 4** voeren we een zwakke gravitatielensanalyse uit, waarbij we de verbeteringen meenemen die we geïntroduceerd hebben in Hoofdstuk 3. Bovendien houden we rekening met recente vooruitgangen in kosmologische inferenties en onderzoeken we de invloed van IA-modellering op de uiteindelijke kosmologische resultaten. We stellen voor om de statistische en systematische onzekerheden van de kalibratie, gezien hun verschillende oorsprong, afzonderlijk te behandelen. Onze uiteindelijke kosmologische resultaten komen overeen met eerdere analyses van KiDS metingen en die van andere zwakke gravitatielensonderzoeken, waarbij een discrepantie van ongeveer 2.3σ op S_8 wordt gemeten ten opzichte van de Planck kosmische microgolfachtergrondfluctuaties resultaten.

Ten slotte onderzoeken we in **Hoofdstuk 5** de relatie tussen donkere materie halo's en hun sterrenstelsels met behulp van de het zwakke lenswerkingeffect. We meten signalen rond sterrenstelselgroepen die gemeten zijn binnen het Galaxy And Mass Assembly (GAMA) project. We analyseren de zwaartekracht lens metingen met behulp van van het halo model formalisme. Hiermee bepalen we de totale halo massa van de sterrenstelselgroepen. Door optische GAMA metingen te gebruiken, leggen we de schalingsrelatie tussen de halo massa en de helderheid van de sterrenstelselgroepen vast. We beoordelen de robuustheid van onze metingen door de behandeling van verschillende parameters te variëren. De gevoeligheidstests helpen ons bij het identificeren van kritieke modelcomponenten en zullen als handvatten gebruikt kunnen worden voor toekomstige verbeteringen van het model. Gezien de verhoogde sensitiviteit van toekomstige metingen, zijn verbeteringen van het model noodzakelijk.

