

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/28941> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Ortiz, Pablo

**Title:** Effects of heavy fields on inflationary cosmology

**Issue Date:** 2014-09-30

# Samenvatting

---

Eén van de meest fascinerende raadsels waar de mens zich voor gesteld ziet gaat over de oorsprong van het universum. Door de eeuwen heen zijn filosofen, sterrenkundigen, wiskundigen, natuurkundigen, scheikundigen, biologen,... op zoek geweest naar een antwoord, dat nog steeds een mysterie blijft. Echter, wetenschappers zijn er met een enorme inspanning in geslaagd om het universum te volgen terug in de tijd tot in de allereerste seconde. Geen wonder dat ik ook mee wilde doen aan deze zoektocht, ook al is mijn doel om ietwat meer bescheiden vragen te beantwoorden.

Het universum bestaat uit deeltjes en energie, maar we begrijpen slechts 5% van haar inhoud, de zogenaamde baryonische materie, zoals protonen en neutronen. Wat de rest betreft, we weten dat er ongeveer 27% moet bestaan van iets dat we donkere materie noemen (omdat we het niet kunnen zien), dat tot nu toe nog niet direct waargenomen is. Echter, het bestaan van een onzichtbare materiecomponent is vereist om huidige observaties van melkwegstelsels en clusters van melkwegstelsels te verklaren. Tenslotte is er het grote mysterie van donkere energie die de resterende 68% van de inhoud van het universum voor haar rekening neemt. Ook in dit geval weten we niet wat het is, maar wel dat het zorgt voor de huidige expansie van ons heelal en dat deze energie op één of andere manier in het vacuüm is opgeslagen. Zo bezien is er weinig zaligs aan onze onwetendheid.

Aan de andere kant begrijpen we de meeste processen die het universum tot op heden ondergaan is wel heel goed: van de formatie van de eerste atomen tot aan de enorme clusters van melkwegstelsels. Omdat we de fysica hierachter begrijpen, hebben we de film kunnen terugdraaien tot het moment van de oerknal. Onderweg passeren we echter een heel speciaal moment: het eerste

uitgezonden licht, dat de kosmische achtergrondstraling genoemd wordt (of CMB straling, voor Cosmic Microwave Background). Dit licht werd uitgezonden toen het universum ongeveer 380.000 jaar oud was, en het is 13 miljard jaar onderweg geweest, de hele weg naar ons toe! Dit is de oudste foto van het universum.

Net zoals het licht van de zon acht minuten onderweg is om ons te bereiken, wat betekent dat als we naar de zon kijken, we haar zien zoals ze er acht minuten geleden uitzag, zo zien we als we naar de CMB kijken het universum zoals het er 13 miljard jaar geleden uitzag. Dit licht is zichtbaar met speciale telescopen en er staat een prachtige afbeelding van in het eerste hoofdstuk van dit proefschrift. Ook al kunnen we de film van het universum terugdraaien tot het allereerste moment (omdat we weten hoe de natuurwetten tot op dat moment werken), hebben we geen experiment dat in staat is om direct iets van voor de CMB te meten. Voor die tijd was het universum zo heet dat alles in de kosmische vloeistof extreem reactief was. De vele botsingen die plaats vonden beletten de lichtdeeltjes om vrij te bewegen, waardoor zelfs licht de vloeistof niet kon ontsnappen om naar ons toe te reizen. Het universum was dof – ondoordringbaar voor licht.

Toen de CMB in 1965 voor het eerst geobserveerd werd, hadden natuurkundigen eindelijk een stevig bewijs dat het vroege universum extreem homogeen is, zo buitengewoon homogeen dat de oerknaltheorie het niet kon verklaren. Dit komt doordat de standaard-oerknaltheorie een periode van vertraagde expansie voorspelt. Het komt erop neer dat in een universum waarin zwaartekracht een aantrekkende kracht is, materie de neiging heeft om te klonteren en daardoor gebiedjes te vormen met een hogere dichtheid dan het gemiddelde. Met andere woorden, het aantrekkende karakter van de zwaartekracht produceert een vertraagde expansie en ook inhomogeniteiten, die niet waargenomen werden in de CMB.

Het duurde tot aan de jaren '80 voordat meerdere fysici een oplossing voorstelden die de homogeniteit van het vroege universum kon verklaren: voor de oerknal moet er een periode zijn geweest van versnelde expansie! Dit zou verklaren waarom het universum is zoals het is. Die periode van versnelde expansie werd *inflatie* genoemd en is enorm succesvol. Haar voorspellingen komen opmerkelijk goed overeen met de CMB experimenten, en zij verschaft een makkelijke manier om de bijzonderheden van het vroege universum te verklaren. Wat er gebeurde tijdens deze zeer vroege fase van afstotende zwaartekracht heeft inderdaad vingerafdrukken achtergelaten in de CMB, en wij zijn met een vergrootglas op zoek naar deze sporen van inflatie.

Nu verschijnt de theoreticus ten tonele, om mechanismen voor te stellen die uitlegen hoe zwaartekracht afstotend kon lijken te zijn. In de laatste dertig jaar hebben fysici geprobeerd om de mysteries van inflatie bloot te leggen, door naar beschrijvingen te zoeken die de versnelde expansie op een natuurlijke

---

manier uit konden leggen. Tegelijkertijd hebben we deze theorieën tot op zekere schaal kunnen testen met behulp van de gegevens uit de CMB. De eenvoudigste oplossing is de aanwezigheid van een enkel deeltje, zoals het Higgs boson, dat de vroege agressieve expansie van het heelal verklaart.

Op dit moment zijn de simpelste modellen het meest succesvol, maar de experimenten beginnen zo nauwkeurig te worden dat we mogelijke sporen van anomalieën in beeld krijgen, waarvan we niet echt weten hoe we die met de simpelste modellen kunnen verklaren. En als deze anomalieën echt blijken te zijn, willen we klaar zijn om ze te kunnen verklaren.

Daarbij is onze kennis van de fysica tijdens de eerste seconde van het universum niet zo robuust. Wanneer zwaartekracht even belangrijk wordt als elektromagnetische of kernkrachten en quantum- en zwaartekrachtseffecten vergelijkbaar worden, werken onze standaardtheorieën domweg niet meer. Enorme inspanningen zijn getroost in dit opzicht in het opstellen van theorieën zoals supersnaren en superzwaartekracht. De beschrijving van inflatie in de context van deze theorieën is een indirecte manier om ze te testen.

In deze geest ben ik in dit proefschrift een zoektocht begonnen, samen met mijn collega's, naar de aanwezigheid van extra deeltjes tijdens inflatie. Deze deeltjes worden verwacht aanwezig te zijn in het geval inflatie beschreven moet worden met nieuwe fysica, en nemen deel aan de expansie van het vroege universum. We hebben onderzocht hoe we zulke deeltjes in onze theorieën moeten inbouwen, op een manier die de theorie goed interpreteerbaar en consistent laat. Belangrijker is dat we ook de invloed van deze extra deeltjes op de CMB-observaties berekend hebben, zodanig dat we voorspellingen doen die overeenkomen met de experimenten. Na vier jaar hebben we nog geen definitief bewijs voor de aanwezigheid van deze extra deeltjes. Echter, huidige experimenten zijn in potentie al gevoelig voor de aanwezigheid van deze deeltjes, en het zou kunnen dat in de zeer nabije toekomst ze deze nieuwe kenmerken waar gaan nemen. Misschien kunnen ze verklaard worden door de aanwezigheid van extra deeltjes, in een samenspel om het vroege universum te laten expanderen. Ze zouden ons nu al subtiele hints kunnen geven via het beeld van het zeer jonge universum...

