



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Hunting for new physics in the primordial Universe

Wang, D.-G.

Citation

Wang, D. -G. (2020, August 27). *Hunting for new physics in the primordial Universe. Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/135951>

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/1887/135951>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/135951> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Wang, D.-G.

Title: Hunting for new physics in the primordial Universe

Issue date: 2020-08-27

Samenvatting

Waar komen we vandaan?

De zoektocht naar de oorsprong van alles heeft generaties van nieuwsgierige mensen aan het denken gezet, al sinds onze voorouders verwonderd de sterrenhemel bestudeerden.

Wat zijn de fundamentele natuurwetten?

Om hier een volledig antwoord op te krijgen zijn tal van briljante denkers, van filosofen in het oude Griekenland tot aan theoretische natuurkundigen vandaag, ‘het grootste avontuur dat de menselijke geest ooit is begonnen’¹ aangegaan.

Het is intrigerend dat de moderne kosmologie gedreven wordt door deze twee fascinerende vragen. De huidige wetenschappelijke opvatting is dat ons universum 13,8 miljard jaar geleden is ontstaan uit een piepklein volume dat zich in een zeer hete en dichte toestand bevond. Daarbij volgt uit bepaalde theoretische overwegingen dat het heelal de eerste fractie van een seconde na de oerknal exponentieel uitdijt. Dit theoretische model, kosmische inflatie genaamd, geeft een succesvolle beschrijving voor het vroege heelal. Tegelijkertijd vormen kwantumfluctuaties, die tijdens de periode van inflatie ontstaan, de zaadjes van kosmische inhomogeniteiten, die later evolueren tot sterrenstelsels, clusters en grootschalige structuren. Het is dus opmerkelijk dat we met behulp van astronomische observaties de fysische processen kunnen achterhalen die tijdens inflatie hebben plaatsgevonden. Als gevolg hiervan is de kosmologie een spannend onderzoeksgebied geworden voor theoretische natuurkundigen, waar men kan jagen op de fundamentele natuurkundige wetten die het vroege universum beheersten.

Met dit als motivatie, is dit proefschrift gewijd aan het onderzoeken voor theorieën van het vroege universum en hun verbinding met astronomische waarnemingen.

¹Aangehaald door Richard Feynman, *The Feynman Lectures on Physics, Volume III*.

Het eerste deel van het proefschrift richt zich op inflatie in gekromde veldruimtes. Om te begrijpen hoe inflatie plaatsvindt, hebben we meestal een veld nodig dat de inflatie aandrijft. Dit veld wordt het inflatonveld genoemd en het kan in een multi-dimensionale veldruimte bewegen, die over het algemeen gekromd is. De geometrie van deze interne ruimte kan worden gezien als een bijzonder voorbeeld van nieuwe fysische effecten tijdens inflatie.

In Hoofdstuk 2 onderzoeken we een klasse van inflatiemodellen genaamd α -attractors. Hier wordt de magie van de hyperbolische veldruimte expliciet gedemonstreerd in de twee-velduitbreiding van deze modellen. Door de hyperbolische kromming blijven de voorspellingen van single-field α -attractors vrijwel onveranderd, zelfs wanneer de multi-field effecten significant sterker worden. Mijn werk vormt een aanvulling op de eerdere analyse van single-field α -attractor-modellen en benadrukt de rol van de hyperbolische geometrie van de veldruimte.

Hoofdstuk 3 introduceert een nieuwe klasse van kosmologische modellen, genaamd ‘shift-symmetric orbital inflation’, waarbij het inflaton in een algemene veldruimte in de ‘hoek richting’ beweegt. Wederom zijn de multi-field effecten significant in deze modellen, maar uiteindelijk vinden we nog steeds single-field-achtige voorspellingen. Mijn onderzoek focust op een minder bestudeerd regime in inflatie met meerdere velden, waarbij het extra veld licht is, maar tegelijkertijd aanzienlijk gekoppeld aan het inflaton.

Terwijl de meeste eerdere studies van de interne veldruimtes gebaseerd zijn op specifieke modellen, is Hoofdstuk 4 daarentegen gewijd aan een meer algemene vraag: wat zijn de model-onafhankelijke signalen van deze gekromde veldruimtes in inflatie? Hier probeer ik deze vraag te beantwoorden met behulp van de niet-Gaussische signalen gecreëerd door de aanwezige velden tijdens inflatie, en vind dat de vingerafdrukken van deze interne ruimtes kunnen worden getest in toekomstige waarnemingen.

Het tweede deel van het proefschrift bestudeert de fenomenologie van een zeer belangrijke observable - ‘primordial non-Gaussianities’, die de afwijking van de Gaussische verdeling van de vroege inhomogeniteiten meet. Deze signalen zijn het zoeken waard, omdat wordt aangenomen dat een schat aan informatie uit het vroege universum in de kosmologische driehoekspatronen is bevat.

Hoofdstuk 5 gaat opnieuw in op de non-Gaussianities die worden gegenereerd bij ‘non-attractor-inflation’. Van deze klasse modellen is bekend dat

ze de ‘single field consistency relation’ van Maldacena schenden, en hebben daardoor veel bekendheid gekregen. Door een zorgvuldige berekening laten we expliciet zien wat er met dit beroemde tegenvoorbeeld gebeurt wanneer realistische en volledige modellen van non-attractor-inflation worden doorgerekend.

Hoofdstuk 6 bestudeert de niet-Gaussische fenomenologie van een alternatief voor inflatie - ‘matter-bounce cosmology’. We beginnen met een algemene theorie met één veld. De hier geproduceerde niet-Gaussische signalen kunnen worden gebruikt om dit alternatieve scenario van inflatie te onderscheiden. Bovendien komen we tot een no-go-stelling die veel alternatieve modellen met de huidige staat van waarnemingen uitsluit.

Wat komt hierna? Dit proefschrift heeft tot doel de grens van de oerkosmologie te verleggen. Dit is een onderzoeksgebied dat zich snel ontwikkelt: er ontstaan veel interessante theoretische ideeën; en aankomende experimenten kunnen ons meer vertellen over de vroegste fase van het heelal. Om de nieuwe fysische effecten in het oertijdperk verder te verkennen, zijn de volgende onderwerpen de komende jaren de aandacht waard.

- *Interne symmetrieën* spelen gewoonlijk een belangrijke rol bij de fundamentele realisaties van inflatie, en ze kunnen ook nauw in verband staan met een effectieve veldentheorie, de geometrie van de veldruimte en nieuwe fenomenologie. Om te zoeken naar waarneembare effecten van onderliggende symmetrieën tijdens inflatie, is het interessant om meer systematisch onderzoek te doen.
- Het *scattering amplitudes* programma biedt nieuwe perspectieven en krachtige hulpmiddelen in de moderne kwantumveldentheorie. Men kan zich afvragen of vergelijkbare methodes kunnen worden toegepast voor ‘bootstrapping-correlators’ in de kosmologie. Hoewel er onlangs enkele baanbrekende werken zijn verschenen, is dit een gloednieuw gebied met veel open vragen.
- *Large scale structure* onderzoeken zullen naar verwachting in de nabije toekomst enorme hoeveelheden gegevens voor kosmologie opleveren. Theoretici zijn nodig om de nieuwe waarnemingsmogelijkheden voor non-Gaussianities en andere oersignalen beter te begrijpen en zich ook voor te bereiden op mogelijke nieuwe ontdekkingen.

Net zoals het gaat²:

*De weg voor ons is een lange, lange, oh!
Ik zal de waarheid hoog en laag zoeken.*

²Qu Yuan (c. 340–278 BC), *The Lament*.