



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Enlightening the primordial dark ages

Iarygina, O.

Citation

Iarygina, O. (2021, November 3). *Enlightening the primordial dark ages*. Casimir PhD Series. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3238935>

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/1887/3238935>

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

Samenvatting

Sinds de tijd van de oude goden, krijgsheren en koningen zijn mensen nieuwsgierig over de oorsprong van onze heelal. Vandaag de dag, doorbreekt de wetenschappelijke gemeenschap de grenzen van de voorheen onopgeloste vragen en bevordert ons begrip van het universum met behulp van de theoretische en experimentele hulpmiddelen van de moderne kosmologie. Uit de mythe, dat onze wereld op de ruggen van vier olifanten ligt, die zelf op een schildpad staan, is de mensheid aangekomen in het tijdperk van precisie- kosmologie die het mogelijk maakt om eerdere filosofische vragen in wetenschappelijke termen te bespreken ter bevestiging of verwerping door observaties en experimenten.

Ons huidige begrip is dat ongeveer 13.77 miljard jaar geleden het universum begon in een dichte en hete toestand, die uitdijde en vandaag de dag nog steeds uitdijt. Het leidende paradigma in de fysica van het vroege heelal wordt kosmologische inflatie genoemd. Het beschrijft het vroegste stadium van de uitdijning van het heelal, ongeveer 10^{-36} seconden na het moment dat we de “Oerknal” noemen. Kwantum fluctuaties die tijdens inflatie worden geproduceerd, dienen als de bron voor de dichtheidsinhomogeniteiten die sterren, sterrenstelsels, en clusters van sterrenstelsels werden en op hun beurt de grootschalige structuur vormen. Om het inflatie tijdperk te verbinden met het heelal dat we tegenwoordig waarnemen, moet de energie die de inflatie aandrijft, worden omgevormd naar elementaire deeltjes en naar straling. Dit proces wordt heropwarmen genoemd. Wanneer deeltjes in thermisch evenwicht komen, begint de vorming van chemische elementen, gevolgd door de rest van de kosmische evolutie.

Dit proefschrift is gewijd aan de verkenning van *de primordiale donkere tijd*: onbekende fysica tijdens de inflatie- en heropwarmingsperioden die niet direct door waarnemingen zijn onderzocht. We richten ons op nieuwe effecten in inflatie en voorverwarming in multidimensionale veldruimten, met het doel om nieuwe verbanden te leggen met astrofysische waarnemin-

gen en de theoretische onzekerheden te verminderen, om inflatie modellen goed te kunnen testen en de fysica van het vroege heelal te begrijpen. In het bijzonder verbindt de onbekende uitdij-geschiedenis van het heelal tijdens het heropwarmtijdperk de waarnemingen van de kosmische achtergrond-waarnemingen met de inflatiefysica. De kosmische microgolf achtergrond is het oudste licht in het heelal, dat werd uitgezonden ongeveer 380.000 jaar na het begin van de evolutie van het heelal en biedt ons een momentopname van het oer-universum. Bovendien genereren zowel het inflatie- als het heropwarmingstijdperk diverse afdrukken die in toekomstige experimenten te zien zullen zijn, bijvoorbeeld via zwaartekrachtgolven en polarisatie van de kosmische microgolf-achtergrond straling.

Het eerste deel van het proefschrift bestudeert inflatie met meervoudige scalaire velden en behandelt de fysica van ijkvelden tijdens het inflatietijdperk. Ijkvelden zijn onvermijdelijke componenten van elke succesvolle veldentheorie. Zij beschrijven fundamentele natuurkrachten en verklaren de dynamica van elementaire deeltjes. Anderzijds zijn de studies van de multiveldinflatie gemotiveerd door hoge energie vervollediging van lage energie veld theorieën. Aangezien de energieën in het oer-universum extreem hoog zijn, is het natuurlijk om aan te nemen dat meerdere velden kunnen deelnemen aan de inflatiedynamica.

In Hoofdstuk 2 presenteren we een nieuwe klasse van inflatiemodellen die we “shift-symmetric orbital inflation” noemen. Het veld dat de inflatie aandrijft, draait in dit geval langs een cirkel met een constante willekeurige straal. In dit model is de extra vrijheidsgraad verantwoordelijk voor de primordiale waarnemingen aan het eind van de inflatie. Niettemin geeft het enkel-veldachtige voorspellingen die door waarnemingen worden gesteund. We bewijzen expliciet de neutrale stabiliteit van de attractoroplossing.

Hoofdstuk 3 is gewijd aan voorspellingen voor de amplitude en kanteling van het spectrum van chirale gravitatiegolven geproduceerd door een niet-Abelse ijkveldsector die wordt gerealiseerd als een spectator voor een standaard scalaire één-velds inflatie. We vinden een maximaal toegestane waarde voor de verhoging van de gravitatie golf ten opzichte van de standaard vacuüm voorspellingen, die potentieel onderscheidbaar zou kunnen zijn in toekomstige kosmische microgolf polarisatie-experimenten.

Het tweede deel van het proefschrift onderzoekt de heropwarming in multi-veld modellen van inflatie met gekromde veld-ruimte geometrieën. Kennis van de fysica van het heropwarmingstijdperk is cruciaal, omdat de efficiëntie en duur ervan de voorspellingen van de kosmische microgolfachtergrond aanzienlijk beïnvloedt en de primordiale nucleosynthese kunnen

beïnvloeden.

Hoofdstuk 4 bestudeert heropwarming in een brede familie van multiveldmodellen van inflatie, α -attractoren genoemd. We tonen analytisch een eenvoudig schalingsgedrag dat een eenvoudige schatting mogelijk maakt van de heropwarmingsefficiëntie voor grote waarden van de veld-ruimte kromming.

Hoofdstuk 5 onderzoekt en vergelijkt de dynamica tijdens inflatie en heropwarming voor het multiveld α -attractormodel met prototype potentialen die symmetrisch en asymmetrisch zijn rond het minimum. We tonen expliciet de betekenis van de asymmetrie en de invloed ervan op het heropwarmingsrendement.

Het doel van dit proefschrift is om licht te werpen op de primordiale donkere tijden van de kosmologie, hun grenzen te verleggen en verdere ontwikkeling te motiveren. We leven in een opwindende tijd van precisie-metingen in de moderne kosmologie die tot nu toe onbekende fysica van het vroege heelal aan het licht kunnen brengen. Een juiste interpretatie van de waarnemingen is echter sterk afhankelijk van theoretisch begrip van de fysica van het vroege heelal. Hieronder schetsen wij enkele richtingen die in de komende jaren diepgaand onderzoek vereisen.

- *Zwaartekrachtsgolfexperimenten* openen een nieuw venster voor het onderzoeken van de fysica van het vroege heelal via de stochastische zwaartekrachtgolf achtergrond. Het is belangrijk om hun productie mechanismen goed te begrijpen om de metingen van de komende experimenten correct te interpreteren.
- *Kenmerken in het primordiale vermogenspectrum* zijn opwindende kenmerken van zowel het inflatie- als het opwarmende tijdperk die mogelijk zichtbaar zijn in de kosmische microgolfachtergrond en in het grootschalige structuur spectrum. Dit onderwerp vereist een grondig analytisch inzicht en toekomstig onderzoek.
- *Een effectieve theorie van opwarmen* is essentieel voor het juiste begrip van de voorspellingen van de kosmische achtergrondstraling. Op hun beurt zijn voorspellingen voor inflatiemodellen sterk afhankelijk van de fysica van het opwarmtijdperk. Daarom is de ontwikkeling van de effectieve veldtheorie van heropwarming voor gekromde veld-ruimtes een belangrijk doel voor de theoretische fysica. Speciale aandacht zou moeten gaan naar het incorporeren van de niet-lineaire effecten en systematische analytische studies van stabiele langlevende

ruimtelijk gelokaliseerde structuren zoals oscillons, vooral in situaties met meerdere velden.

Om de motivatie voor verdere spannende verkenningen vast te houden, is het goed om de volgende afspraak te onthouden:

*“De cosmos is in ons. We zijn gemaakt van sterrenstof.
We zijn een manier voor het universum om zichzelf te leren kennen.”*

Carl Sagan