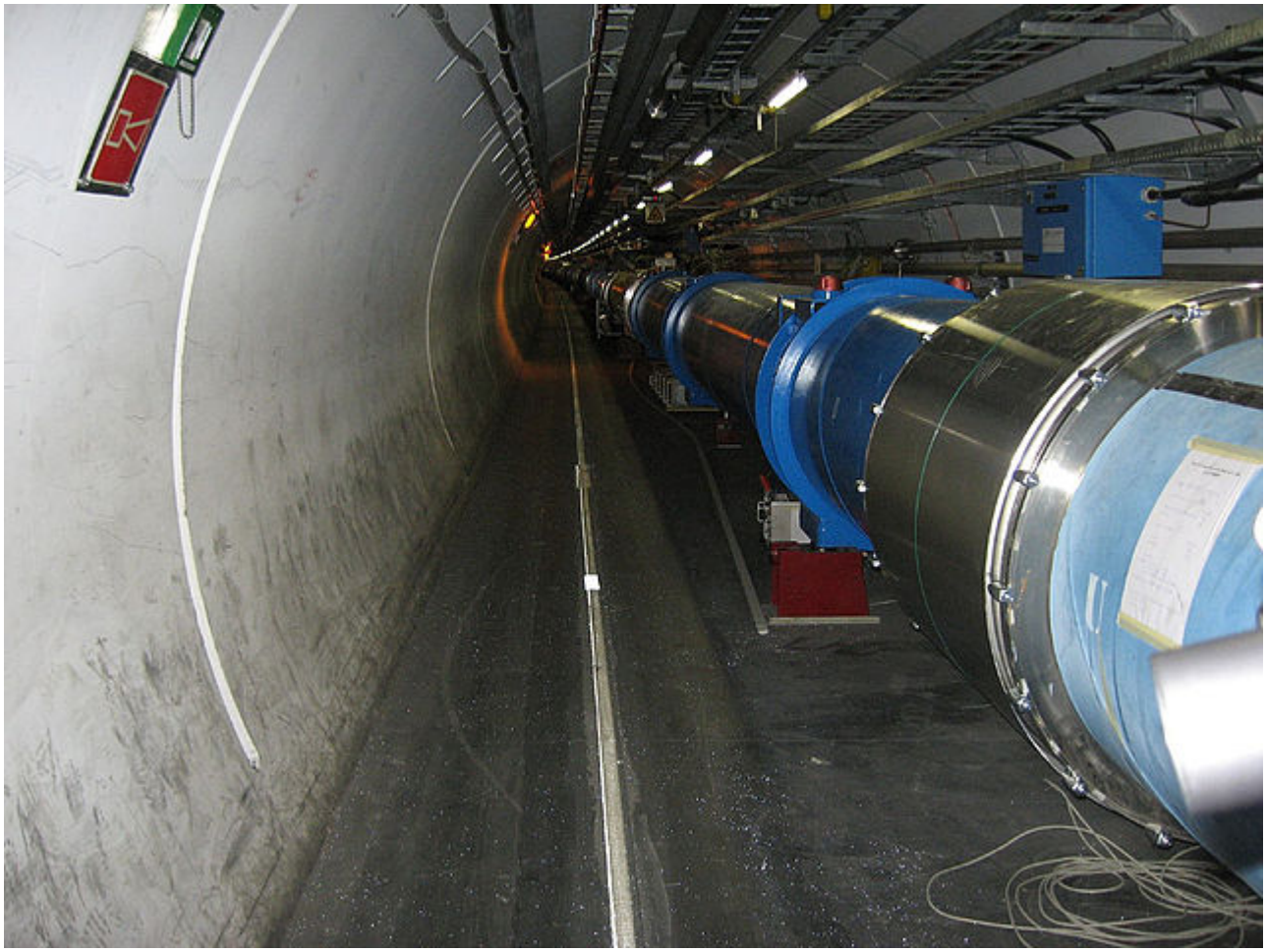
Het universum als deeltjesversneller

Kosmologie, de studie van het heelal als geheel, leidt tot allerlei verrassende inzichten. In het vorige deel van dit kosmologiedossier zagen we dat waarnemingen van de kosmische achtergrondstraling suggereren dat er in het vroege universum een periode van extreem snelle groei, inflatie, heeft moeten plaatsvinden. Gedurende deze periode werd een piepklein stukje universum exponentieel opgeblazen tot het huidige waarneembare heelal. Natuurlijk roept dit beeld enkele vragen op. Wat was het mechanisme hierachter? En wat zijn de waarneembare effecten? Vandaag lichten we een tipje van de sluier op en ontdekken we iets bijzonders: het vroege universum was een deeltjesversneller!



Afbeelding 1. Een deeltjesversneller.De LHC-versneller op het CERN in Genève. Was het vroege heelal ook een soort deeltjesversneller? Foto: CERN.

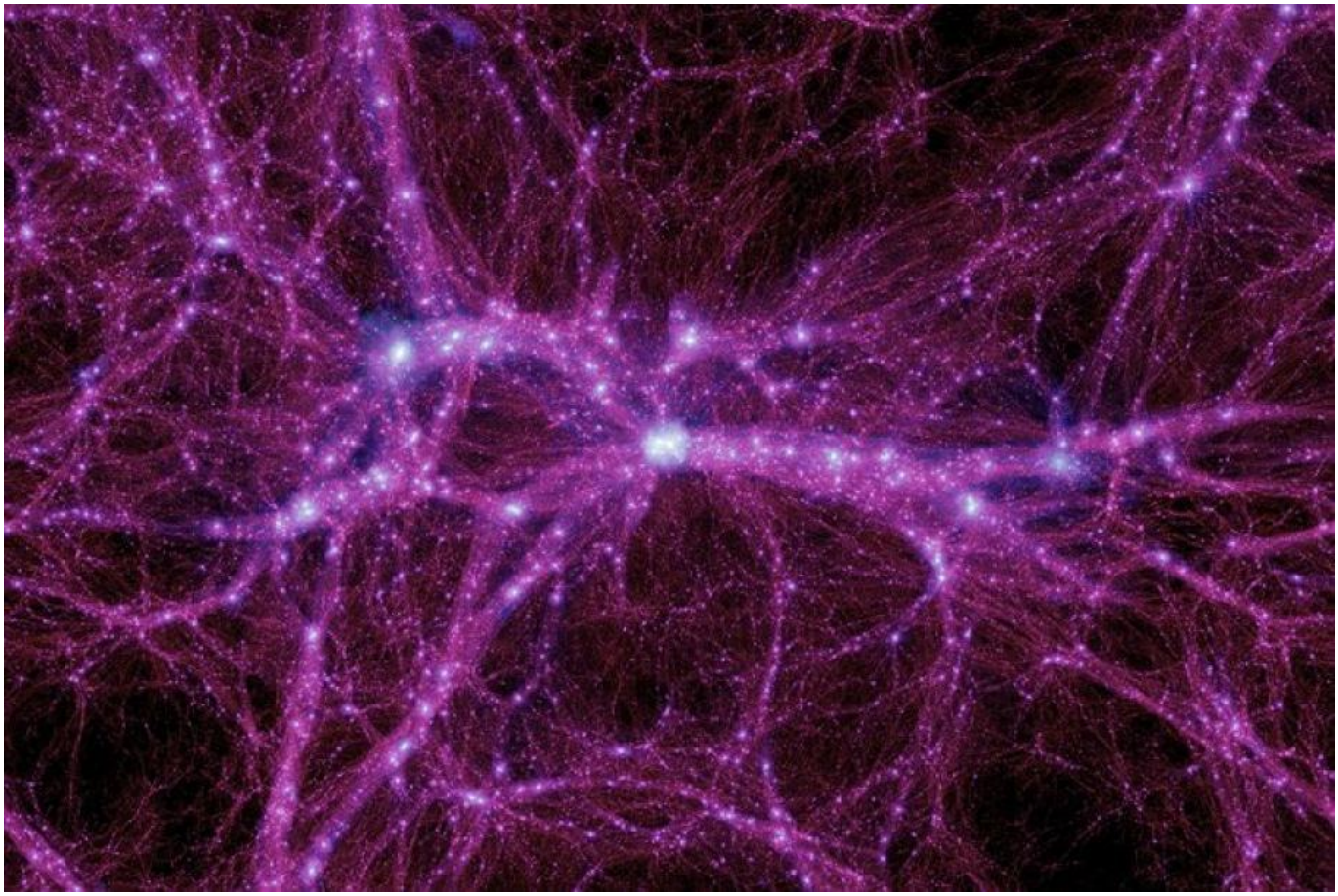
Ons universum heeft een turbulente geschiedenis achter de rug. In de 13,8 miljard jaar dat het oud is, is het steeds met verschillende snelheden uitgedijd. In een eerder deel van dit kosmologiedossier zagen we dat die uitdijing van het heelal afhankelijk is van zijn inhoud. Een universum gevuld met bijvoorbeeld alleen materie leidt tot een andere uitdijingssnelheid dan een universum gevuld met alleen straling. Wanneer we ver genoeg in het verleden van ons heelal duiken, ontdekken we zelfs dat er een periode heeft moeten plaatsvinden waarin het exponentieel snel uitdijde. Deze uitdijing staat bekend als inflatie.

De huidige waarnemingen van de kosmische achtergrondstraling leren ons dát er een periode van inflatie heeft moeten plaatsvinden, maar niet wat het precieze mechanisme hierachter was. Gelukkig geeft de natuurkunde ons een houvast: om de exponentiële expansie te genereren moet er een nog onontdekt deeltje aanwezig zijn geweest. Dit deeltje, het inflaton genaamd, werkt in feite als een klok die de hoeveelheid uitdijing bijhoudt. Nadat

een zekere tijd op deze klok is verstreken, komt dit deeltje – en daarmee het hele heelal – in een andere toestand terecht en stopt inflatie. Vervolgens evolueert het universum verder met een veel langzamere uitdijingssnelheid.

Wanneer we quantummechanische effecten meenemen, blijkt het zo te zijn dat het inflaton nooit een perfecte klok is. Het inflaton ondervindt *quantumfluctuaties*, wat wil zeggen dat de tijd op de interne klok op sommige plaatsen iets sneller tikt en op andere weer iets langzamer. Op het moment dat inflatie stopt, uit dit verschil zich in kleine afwijkingen in de materiedichtheid in het universum ten opzichte van het gemiddelde.

Dit heeft twee belangrijke gevolgen. Eerder behandelden we al één effect: de kosmische achtergrondstraling is niet perfect homogeen, maar vertoont kleine temperatuurfluctuaties. Een tweede effect is te zien in de verdeling van materie in het huidige universum. Als er geen enkele fluctuaties zouden zijn geweest, zou de materiedichtheid in het latere universum overal exact hetzelfde zijn. Een simpele observatie toont aan dat dit niet het geval kan zijn. De aarde is bijvoorbeeld een plaats met een verhoogde materiedichtheid ten opzichte van de vrijwel lege ruimte tussen sterren. Het moet dus zo zijn dat kleine fluctuaties in de materiedichtheid onder invloed van de aantrekkende zwaartekracht zijn gegroeid tot steeds grotere materiehopen, wat uiteindelijk de vorming van sterrenstelsels mogelijk heeft gemaakt. De quantumfluctuaties van het inflaton zijn dus verantwoordelijk voor de huidige structuur van het universum op de allergrootste schaal! Deze verdeling van materie wordt de *large-scale structure* genoemd, zie afbeelding 2.



Afbeelding 2. De structuur van het heelal.Als we het heelal bekijken en ver genoeg uitzoomen, ziet het eruit als een soort web dat bestaat uit vele sterrenstelsels. Deze structuur, waarvan de oorsprong ligt in quantumfluctuaties, wordt de *large-scale structure* genoemd. Afbeelding: Boylan-Kolchin/The Virgo Consortium/Durham University/PA Wire.

Het blijkt dus dat de eigenschappen van het inflaton, en daarmee het mechanisme achter inflatie, verborgen zijn in de kosmische achtergrondstraling en de large-scale structure. Het bovenstaande argument gaat echter uit van een minimaal scenario waarbij er één deeltje, het inflaton, een rol speelt gedurende inflatie. In principe kunnen er echter ook meer deeltjes actief zijn geweest. Aangezien de quantummechanica ook deze deeltjes zal laten fluctueren, kunnen zij ook een waarneembaar effect hebben gehad op de kosmische achtergrondstraling en de large-scale structure.

Kortom, gedurende de inflatieperiode van het universum worden exotische deeltjes geproduceerd die een waarneembaar effect hebben op het huidige universum. Het vroege universum kan dus worden beschouwd als een deeltjesversneller waarin nieuwe deeltjes worden geproduceerd, net zoals dat in de bekende deeltjesversneller in Genève gebeurt! Een

belangrijk verschil met een conventionele deeltjesversneller is de energie die wordt bereikt. Waar de deeltjesversneller in Genève een energie kan bereiken van zo'n 13 TeV (1 TeV = 10^{12} elektronvolt) is de energieschaal die behaald wordt tijdens inflatie vele orden van grootte hoger. De precieze energie hangt daarbij af van het specifieke mechanisme achter inflatie.

Momenteel wordt er door onderzoekers ijverig gezocht in data van de kosmische achtergrondstaling en de large-scale structure naar signalen die aangeven dat er inderdaad nieuwe deeltjes werden geproduceerd gedurende inflatie. Er zijn zelfs wetenschappers die, werkend onder de aanname dat inflatie plaatsvond op een zeer hoge energieschaal, berekenen wat het effect is van quantumzwaartekracht op inflatie. Dit biedt een unieke kans op experimentele toetsing van dit soort theorieën, die zich normaal gesproken op een veel te hoge energieschaal afspelen om bereikbaar te zijn met experimenten.

Zo blijkt dat, om Einstein te citeren, God inderdaad subtiel is, maar niet kwaadaardig. De geheimen van de natuur zijn door hem goed verborgen, maar hij is wel zo aardig geweest ons de allergrootste deeltjesversneller te schenken waarmee wij deze geheimen kunnen ontrafelen: het universum zelf.