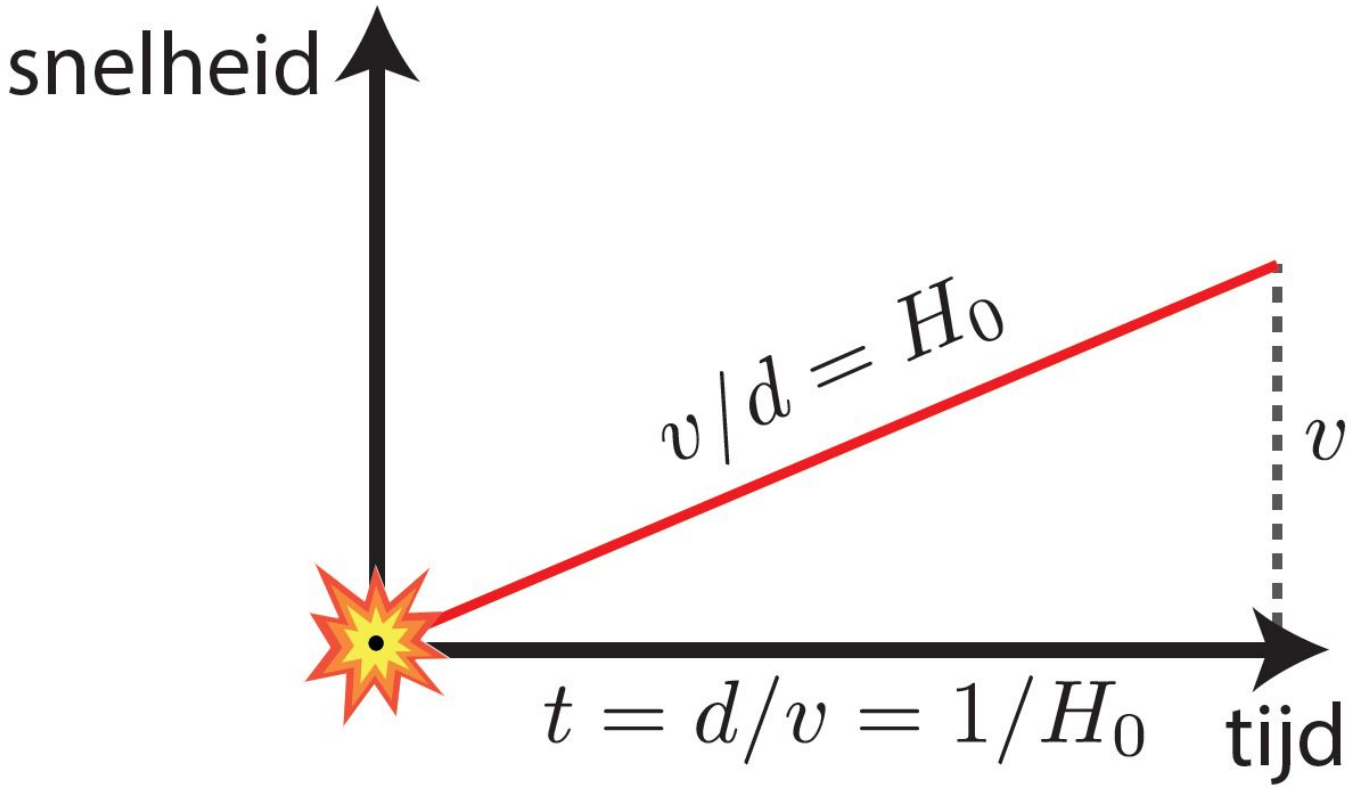
De oerknal en inflatie

Eerder in onze serie artikelen over kosmologie beschreven we hoe ons heelal al veertien miljard jaar lang bezig is uit te dijen. In deel 2 en 3 van dit dossier zagen we de gevolgen van de uitdijing voor onze toekomst. Maar wat houdt de uitdijing van het heelal in voor ons verleden? Vandaag duiken we in het verleden en reizen we terug naar de oerknal – en nog verder!

Zoals we in deel 1 van dit dossier leerden, weten we uit de waarnemingen van Edwin Hubble aan verre sterrenstelsels dat het universum uitdijt. De wet van Hubble vertelt ons dat de hoeveelheid uitdijing gegeven wordt door de Hubbleconstante, die tegenwoordig een waarde heeft van 73 km/s/Mpc.

In deel 2 en deel 3 van dit dossier zagen we al wat de gevolgen van de uitdijing zijn voor de toekomst van ons heelal. Maar de wet van Hubble leert ons ook veel over het verleden. Als het heelal namelijk uitdijt wanneer de tijd verstrijkt, betekent dit natuurlijk ook dat het kleiner was in het verleden. Sterker nog: wanneer we voor het gemak even aannemen dat de Hubbleconstante altijd gelijk was aan 73 km/s/Mpc (wat slechts bij benadering waar is) vertelt dit ons dat de inverse van de Hubbleparameter geeft hoe lang in het verleden het gehele universum de grootte had van een oneindig klein punt. Zie afbeelding 1:



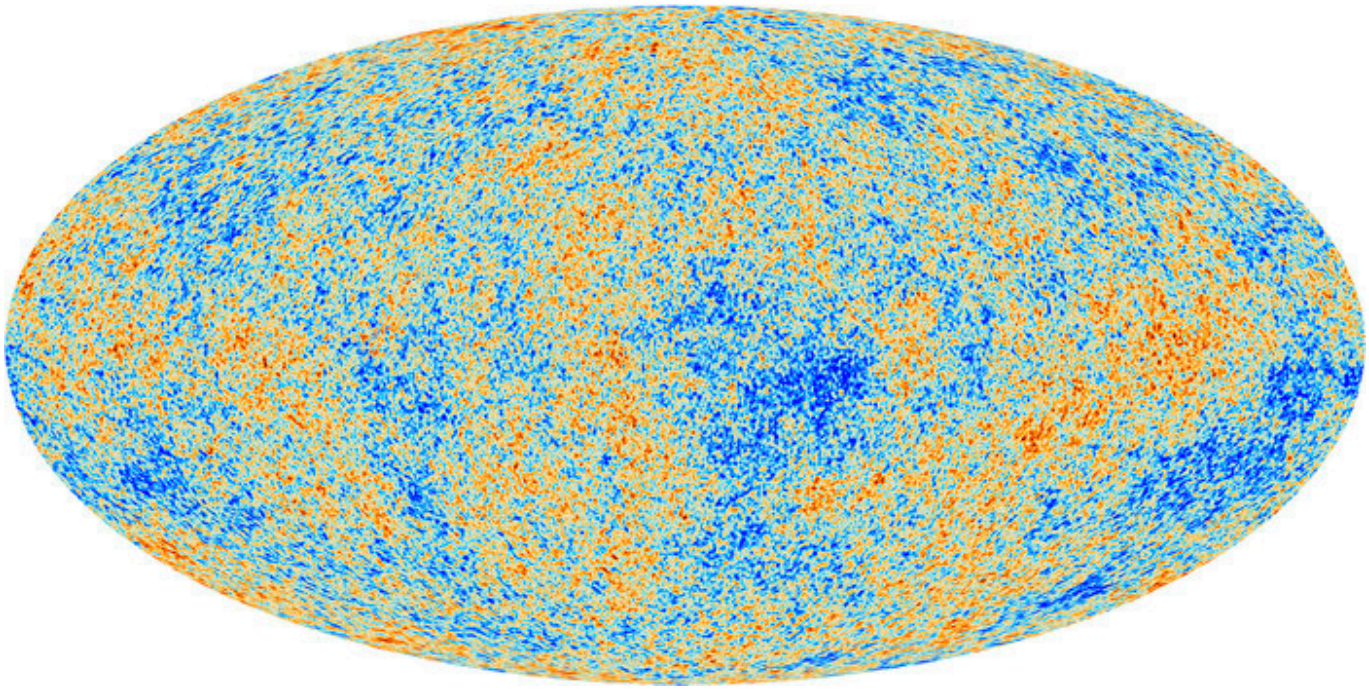
Afbeelding 1. De Hubbleconstante en de leeftijd van het heelal.Laten we aannemen dat het heelal *t* jaar oud is en dat een sterrenstelsel op afstand *d* met een snelheid *v* van ons af beweegt. De wet van Hubble vertelt ons dat de verhouding tussen die twee gegeven wordt door de Hubbleconstante: $H_0=v/d$. Tegelijkertijd weten we dat de relatie tussen afstand, tijd en snelheid $v=d/t$ is, ofwel $t=d/v$. De leeftijd van het heelal is dus gelijk aan de inverse van de Hubbleconstante: $t=1/H_0$.

Vóór dit tijdstip, volgens deze schatting $1/H_0$ = 13 miljard jaar geleden, lijkt er dus geen tijd of ruimte te bestaan. Maar dit kan niet het hele verhaal zijn. Allereerst is het wiskundig lastig om te beschrijven hoe alle materie van het universum tot een punt samen gedrukt kan zijn; een soortgelijke *singulariteit* plaagt bijvoorbeeld ook de volledige beschrijving van zwarte gaten. Daarnaast is er nog iets vreemds aan de hand. Als we namelijk met telescopen een afbeelding maken van het verre, en dus vroege universum (het licht van ver weg is immers lang onderweg geweest) en al het licht van bekende bronnen hiervan aftrekken is er nog steeds een zogenaamde kosmische achtergrondstraling te zien.

Dit licht geeft een uniek kijkje in het universum zoals het er vlak naar de oerknal uitzag. Wat opvalt is dat de straling uit elke richting van het universum bijna dezelfde temperatuur heeft. Dit wil zeggen dat het vroege universum erg *homogeen* en *isotroop* was: op elke plek had het

nagenoeg dezelfde dichtheid en het zag er vrijwel hetzelfde uit in elke richting.

Mogelijk nog interessanter zijn de kleine afwijkingen van dit gemiddelde, zie afbeelding 2. Deze temperatuurverschillen, die worden veroorzaakt door een afwijking in de *materiedichtheid* ten opzichte van het gemiddelde, vertellen een bijzonder verhaal. Regio's verder verwijderd van elkaar dan ongeveer 1 graad waren namelijk niet in causaal contact met elkaar op het moment dat de kosmische achtergrondstraling gevormd werd: zelfs het licht had nog niet genoeg tijd gehad om zich van de ene naar de andere regio te bewegen. Ondanks de afwezigheid van contact lijken de temperatuurfluctuaties over deze afstanden elkaar toch beïnvloed te hebben – hoe kunnen we anders immers verklaren dat de gemiddelde temperatuur in beide regio's vrijwel hetzelfde is?



Afbeelding 2. De kosmische achtergrondstraling.De kleur geeft de temperatuur aan die gerelateerd is aan de energie van de fotonen waaruit de straling bestaat. Het verschil in temperatuur tussen `warme' en `koude' gebieden is slechts 0,001%. Afbeelding: ESA/Planck collaboration.

Het is alsof jij en een vriendin aan de andere kant van de wereld allebei besluiten om een steentje in zee te gooien. Zonder dat jullie hebben overlegd gooien jullie op *exact* dezelfde manier en hetzelfde tijdstip een steentje in zee. Na lang genoeg wachten zal een derde vriend allebei de rimpels zien en concluderen dat jullie toch stiekem een afspraak hadden gemaakt, en dus met elkaar in contact zijn geweest.

Het vroege universum werkt niet anders en dat een `afspraak' mogelijk toch gemaakt is, is een gevolg van inflatie, een periode van exponentieel snelle uitdijing in het heel vroege heelal – vele malen sneller dan de uitdijing die we vandaag de dag zien. Die inflatie leidt ertoe dat de regio's waarvan we dachten dat ze geen connectie hadden, toch in causaal contact met elkaar waren. Immers, als het idee van inflatie klopt, komt ons gehele waarneembare universum uit een regio die in korte tijd gigantisch is `opgeblazen'. Alle verschillende plekken in het zichtbare universum waren dus ooit in causaal contact met elkaar.

Wanneer we de inflatietheorie combineren met de quantummechanica, blijkt dat zij voorspelt dat minuscuul kleine quantumfluctuaties gedurende de periode van inflatie ook worden opgeblazen tot macroscopische schalen. Dit leidt precies tot de kleine temperatuurfluctuaties die we zien in de kosmische achtergrondstraling. Inderdaad blijkt dat de eigenschappen van de fluctuaties in de kosmische achtergrondstraling overeenkomen met degene die worden voorspeld door de inflatietheorie, wat een zeer sterke aanwijzing is voor de juistheid van deze theorie.

Zo heeft een relatief eenvoudige observatie van Edwin Hubble uiteindelijk geleid tot diepe inzichten in het ontstaan van het heelal. De inflatietheorie vertelt ons dat de allergrootste schalen ontstaan zijn uit de allerkleinste schalen – een mooier idee bestaat haast niet.