

13,7 miljard jaar oud en zo plat als een dubbeltje

We leven in een absurd heelal

De Academische Boekengids 64, september 2007, pp. 8-10.

De verbluffend precieze kosmologische observaties van de laatste twintig jaar ondersteunen het hete-oerknalmodel, maar werpen tegelijkertijd vele vragen op waarvoor een afdoende theoretische verklaring op dit moment ontbreekt. Twee recente studies geven vanuit verschillend perspectief een overzicht en bieden inspirerende, maar gewaagde visies op de toekomst.

Van oudsher is de kosmologie een van de meest tot de verbeelding sprekende wetenschappelijke disciplines. Filosofen, astronomen, natuurkundigen en zelfs priesters hebben altijd een warme belangstelling gekoesterd voor vragen van kosmologische aard. Wanneer is het heelal ontstaan, uit welke bestanddelen is het opgebouwd en wat is zijn toekomstig lot? Ongetwijfeld is de mystieke, bijna religieuze, lading van deze vragen een van de verklaringen voor de enorme aantrekkingskracht van het vakgebied. Verlost van aardse beslommeringen heeft menig wetenschapper (en niet-wetenschapper) zijn gedachten de vrije loop gelaten in een poging de geheimen van de kosmos te ontsluiten. 'Denk groot' was het devies. Maar de hersenspinnels bleven veelal steken in speculatie en filosofisch gewauwel dat het predikaat wetenschap niet of nauwelijks verdiende.

Tot voor kort was de status van de kosmologie binnen de natuurkunde dan ook die van het spreekwoordelijke ondergeschoven kindje. Niet te veel aandacht aan besteden, behalve misschien na een avond flink doorzakken met collega's. Leuk tijdverdrijf, maar theoretisch slecht verankerd en bovendien nauwelijks toetsbaar. Ter illustratie van dat laatste: de waarde van een van de belangrijkste parameters in de kosmologie, de zogenaamde Hubble-parameter die de snelheid aangeeft waarmee ons heelal uitdijt, was nog geen twintig jaar geleden omgeven met extreem grote onzekerheid. Foutenmarges van tientallen procenten waren eerder regelmaat dan uitzondering. Wat een verschil met de deeltjesfysica, waar experimenten tot op honderdste procenten nauwkeurig overeenkwamen met de voorspellingen van het Standaardmodel van de elementaire deeltjes.

'EINSTEINS ZELFVERKLAARDE GROOTSTE BLUNDER OOIT IS OP DIT MOMENT BEZIG AAN EEN OPMERKELIJKE COMEBACK.'

Desalniettemin vierde de kosmologie in het begin van de twintigste eeuw ook enkele grote successen. Met de ontwikkeling van de algemene relativiteitstheorie door Albert Einstein was de kosmologie als natuurkundige discipline geboren: voor het eerst was het mogelijk de evolutie van het heelal als geheel in vergelijkingen te gieten en te analyseren. Gravitatie was niets anders dan de kromming van ruimte en tijd; ruimte en tijd werden dynamische objecten met een eigen geschiedenis. Einstein zelf was de eerste die zijn theorie losliet op het heelal als geheel. Hij was van mening dat een statisch, onveranderlijk heelal de voorkeur genoot en kwam tot de conclusie dat dat alleen mogelijk was door een term toe te voegen aan zijn beroemde vergelijkingen: de zogenaamde kosmologische constante. Zijn grootste blunder ooit, zoals hij het later zelf noemde, is op dit moment bezig aan een opmerkelijke comeback, maar daarover later meer.

Het was de Russische wiskundige en meteoroloog Alexander Friedmann die in het begin van de jaren twintig beseftte dat Einsteins aanname van een statisch heelal overbodig was. Hij veronderstelde slechts dat het heelal homogeen en in alle richtingen gelijk was. Zijn berekeningen lieten een dynamisch, evoluerend heelal zien waarin de afstanden toenamen in de tijd. Afhankelijk van de materiedichtheid was het resultaat op te delen in drie varianten, geassocieerd in termen van de ruimtelijke geometrie van het heelal.

Voor een eindig groot, bolvormig heelal, met een materiedichtheid groter dan de kritische waarde (overeenkomend met ruwweg één waterstofatoom per kubieke meter in het huidige heelal), kwam de uitdijng tot stilstand om vervolgens om te keren en te leiden tot een ineenslopend heelal. Voor materiedichtheden kleiner dan de kritische dichtheid was de expansie eeuwig en de geometrie hyperbolisch. Precies op de grens van de kritische dichtheid lag het oneindig grote, eveneens voor altijd uitdijende, vlakke heelal.

Alle varianten hadden een belangrijke eigenschap gemeen, namelijk dat het heelal een eindige tijd geleden was ontstaan uit een punt waar de materiedichtheid oneindig groot was en de kromming van de ruimte en tijd opblies, ook wel een ruimte-tijd singulariteit genoemd. Hoewel Friedmanns artikelen gepubliceerd waren in een vooraanstaand Duits tijdschrift, kregen ze nauwelijks de aandacht die ze verdienden. Tot overmaat van ramp overleed Friedmann in 1925 aan de gevolgen van een longontsteking. Mede daardoor raakte zijn werk verder in de vergetelheid.

Interessant (en verbazingwekkend) genoeg was het de Belgische priester Georges Lemaître die

onafhankelijk van Friedmann een paar jaar later tot dezelfde conclusie kwam. Ook zijn werk werd in eerste instantie genegeerd, totdat Edwin Hubble in 1929 zijn observaties wereldkundig maakte. Daaruit bleek dat verder gelegen melkwegstelsels sneller van ons vandaan bewegen. Een natuurlijke verklaring is een homogeen en in alle richtingen gelijk expanderend heelal, in overeenstemming met de modellen van Friedmann en Lemaître.

In de daaropvolgende jaren kreeg het werk van Friedmann en Lemaître eindelijk de aandacht en erkenning die het verdiende. Toch bleef er veel verzet tegen het idee dat het heelal een eindige tijd geleden zou zijn ontstaan uit een singuliere gebeurtenis. Dit riekte naar goddelijke interventie. Wat (of misschien Wie) bepaalde de in dat geval noodzakelijke begincondities van ons heelal? Paus Pius XII pikte het idee gretig op. In 1951 verklaarde hij enthousiast dat de wetenschappelijke ontdekking van het expanderende heelal een bewijs was voor het bestaan van de schepper, alias God.

Veel wetenschappers bleven echter sceptisch. Belangrijkste penvoerder was de astrofysicus Fred Hoyle, die weigerde te geloven in een explosief begin van ons heelal. In plaats daarvan ontwikkelde hij de 'Steady State' kosmologie - een stationair, en in die zin onveranderlijk, kosmologisch model zonder begin of einde. In een populair BBC-radioprogramma refereerde hij eens spottend aan het concurrerende 'Big Bang' model. Die terminologie is sindsdien blijven hangen. Hoewel de feiten die het big bangmodel ondersteunden zich langzaam maar zeker opstapelden, bleven de aanhangers van de Steady State theorie nog lang overeind. In 1992, toen de Cosmic Microwave Background Explorer (COBE) het onomstotelijke bewijs leverde voor het bestaan van een hete oerknal, waren zij uiteindelijk gedwongen de handdoek in de ring te gooien.

'PAUS PIUS XII VERKLAARDE IN 1951 ENTHOUSIAST DAT DE WETENSCHAPPELIJKE
ONTDEKKING VAN HET UITDIJENDE HEELAL EEN BEWIJS WAS VOOR HET BESTAAN
VAN DE SCHEPPER, ALIAS GOD.'

Voor een andere doorbraak in het big bangmodel zorgde in de eerste helft van de twintigste eeuw de flamboyante kernfysicus George Gamov, een in de jaren dertig naar de Verenigde Staten gevluchte Rus. Hij realiseerde zich dat een uitdijend heelal in het verleden niet alleen kleiner was, maar ook heter. Dit leidde onvermijdelijk tot de conclusie dat het prille, superhete heelal uit een oersoep van elementaire deeltjes bestond. Ongeveer één seconde na de oerknal, bij een temperatuur van ruwweg tien miljard graden Celsius, waren de belangrijkste bestanddelen van deze oersoep: nucleonen (protonen en neutronen), elektronen en elektromagnetische straling, oftewel fotonen. Gamov vroeg zich af de verschillende chemische elementen, de atomen, in deze hete oersoep gevormd konden zijn. Met de hulp van de twee jonge fysici Ralph Adler en Robert Herman berekende hij dat dit kosmische fornuis, nadat de temperatuur voldoende gedaald was tengevolge van de voortdurende expansie, resulteerde in ruwweg een kwart van de massa in de vorm van helium en de rest in de vorm van waterstofatomen. Observaties bevestigden dat ons heelal inderdaad voor het grootste gedeelte uit waterstof en helium bestaat in precies de door Gamov en zijn collega's voorspelde verhouding.

Het idee van een hete vuurbal in het prille heelal had nog een andere opzienbarende consequentie. Vóór het ontstaan van de waterstof- en heliumatomen zaten de ook aanwezige fotonen opgesloten in het elektrisch geladen elektron-nucleonplasma. Als in een flipperkast botsten deze fotonen van het ene geladen deeltje op het andere. Aan deze kosmische flipperkast kwam een abrupt einde toen voor het eerst neutrale atomen werden gevormd. Plotseling waren de fotonen in staat vrij te bewegen en werd ons heelal transparant. Adler en Herman kwamen in 1948 tot de opmerkelijke conclusie dat deze nagloed van de oerknal, tengevolge van de verdere uitdijing van het heelal, inmiddels afgekoeld was tot naar schatting vijf graden Kelvin, corresponderend met elektromagnetische straling in het microgolfg gebied. Verbazingwekkend genoeg werd het werk van Adler en Herman grotendeels genegeerd en/of vergeten. Bijna twintig jaar lang kwam niemand op het idee te gaan zoeken naar het fossiel van de hete oerknal. Dus gebeurde het per ongeluk. De radioastronomen Arno Penzias en Robert Wilson, in dienst van Bell Telephone Laboratories, ontdekten in 1965 een hardnekkige tijds- en richtingsonafhankelijke ruis in hun radioantenne die gekarakteriseerd kon worden door een temperatuur van ongeveer drie graden Kelvin.

Op het nabijgelegen Princeton was de fysicus Robert Dicke intussen tot dezelfde conclusie gekomen als Adler en Herman bijna twintig jaar eerder. Zijn team was begonnen een radioantenne te ontwerpen om op zoek te gaan naar de kosmische achtergrondstraling. Toen Dicke hoorde van de ruis in de metingen van Penzias en Wilson, wist hij onmiddellijk wat de oorzaak was en bracht hen op de hoogte. De rest is geschiedenis. Penzias en Wilson kregen in 1978 de Nobelprijs voor hun ontdekking. Adler en Herman hadden de natuurkunde inmiddels verlaten.

'HET PRILLE, SUPERHETE HEELAL BESTOND UIT EEN OERSOEP VAN ELEMENTAIRE
DEELTJES.'

In 1992 deed het COBE-onderzoeksteam het laatste restje twijfel over de oorsprong van de kosmische achtergrondstraling verdwijnen. Het leverde als eerste het bewijs voor de door het hete-oerknalmodel voorspelde thermische karakteristiek van de achtergrondstraling: de intensiteit-frequentieverdeling is exact zoals voorspeld voor een heet lichaam, de zogenaamde Planck-kromme. Sterker nog, het is op dit moment de meest precies gemeten Planck-kromme ooit, overeenkomend met een temperatuur van 2,725

graden Kelvin. Bovendien werden, groots aangekondigd op een speciaal belegde persconferentie, voor het eerst kleine temperatuurvariaties van 0,001 procent gedetecteerd. Die wijzen op kleine dichtheidsvariaties in het oerplasma en zijn verantwoordelijk voor de in de loop der tijd geëvolueerde structuren in ons heelal. Het overtuigende bewijs voor de hete oerknal was geleverd. John Mather en George Smoot kregen als leiders van het COBE-onderzoeksteam eind 2006 de Nobelprijs voor Natuurkunde uitgereikt.

In een onafhankelijke, maar niet minder spectaculaire observationele ontwikkeling werd in de loop van de jaren negentig duidelijk dat ons heelal versneld aan het expanderen was. Door gebruik te maken van de karakteristieke lichtcurven van een bepaald type supernovae - relatief zware sterren die in de laatste fase van hun bestaan op vrijwel identieke wijze opzwellen en uiteindelijk exploderen - wisten twee concurrerende teams de recente expansiegeschiedenis van het heelal te reconstrueren. Wat bleek? De supernovae waren minder helder dan ze in een vertraagd uitdijend heelal zouden moeten zijn. Beide teams, het ene geleid door Saul Perlmutter en het andere door Robert Kirshner en Brian Schmidt, kwamen tot een eensgezinde conclusie: ons heelal dijt versneld uit! Van de kosmologische constante, Einsteins zelfverklaarde grootste blunder, was bekend dat deze het heelal versneld deed uitdijen. Maar tot dan toe had men altijd stilzwijgend aangenomen dat de kosmologische constante gelijk was aan nul. Meer algemeen wordt de mysterieuze bron voor de versnelde expansie ook wel 'donkere energie' genoemd. De kosmologische constante was terug van weggeweest en zou niet meer van het toneel verdwijnen.

'ZONDER INFLATIE IS HET ONVERKLAARBAAR WAAROM ONS HEELAL ZO PERFECT VLAK IS.'

De COBE-satelliet luidde het begin in van een gouden decennium van precisiekosmologie. Steeds meer kosmologische parameters werden met steeds grotere nauwkeurigheid gemeten. De totale materiedichtheid, de ruimtelijke geometrie, de hoeveelheid donkere energie en donkere materie, de Hubble-parameter, ze hebben allemaal nauwelijks (observationele) geheimen meer en zijn inmiddels tot op procenten nauwkeurig gemeten. Een bijzondere prestatie. De door de opvolgers van COBE zeer precies geregistreerde temperatuurfluctuaties in de kosmische achtergrondstraling, die een soort vingerafdruk zijn, hebben een schat aan informatie opgeleverd over de verschillende eigenschappen van ons heelal.

In 2006 publiceerde de Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP), vernoemd naar de overleden astronoom en kosmoloog David Wilkinson, die overigens ook senior lid was van het COBE-team, zijn nieuwste gegevens. Deze bevestigden nogmaals, maar nu nog nauwkeuriger, het beeld van een absurd heelal dat bijna perfect vlak is, dat voor zesentwintig procent uit donkere materie bestaat en voor zeventig procent uit de voor de huidige versnelde expansie verantwoordelijke donkere energie. De meeste materie is 'donker' en mysterieus van aard en verraadt haar aanwezigheid slechts door de extra zwaartekracht die zij veroorzaakt om de structuren in het heelal te vormen en de rotatiesnelheden in melkwegstelsels te verklaren. Slechts vier procent bestaat uit de voor de deeltjesfysicus zo vertrouwde atomen waaruit sterren, planeten, mens en dier zijn opgebouwd. Het is primair deze exponentiële vooruitgang in de observaties die ervoor gezorgd heeft dat het vakgebied op dit moment in het middelpunt van de belangstelling staat. Vandaar waarschijnlijk ook de huidige overloed aan populaire boeken over dit onderwerp.

Beide hier te bespreken boeken besteden aandacht aan deze kosmologische geschiedenisles, veelal bij wijze van introductie. Vooral *The Infinite Cosmos* van Joseph Silk, een astrofysicus/kosmoloog met een enorme staat van dienst, biedt een complete en gedetailleerde beschrijving van vrijwel alles wat er in de loop der jaren is geleerd op dit gebied, inclusief de hiervoor besproken hoogtepunten. Alles komt aan bod, van de kosmische achtergrondstraling, supernovae en de kosmologische constante tot aan de grote schaalstructuur in ons heelal, inclusief details over de vorming van sterren, zwarte gaten en sterrenstelsels, ja zelfs 'wormholes' worden geïntroduceerd. In de laatste hoofdstukken laat Silk zich verleiden tot het bespreken van meer speculatieve onderwerpen, zoals tijdreizen en gefilosofeer over de rol van God in de kosmologie. Hoewel zeer vermakelijk, kan ik het niet laten in deze context de theoretisch natuurkundige Richard Feynman te citeren, waarmee het betreffende hoofdstuk 19 ('And so to God') ook begint: 'I believe that a scientist looking at non-scientific problems is just as dumb as the next guy...'

Liefhebbers van wetenschappelijke geschiedschrijving verwijs ik van harte naar *The Infinite Cosmos*. Dit boek is zeker een aanrader voor diegenen die op zoek zijn naar een compleet overzicht van de huidige stand van zaken in de moderne kosmologie. Maar voor geïnteresseerde leken die graag door de bomen het bos willen blijven zien, is het af en toe ook een droge en ietwat chaotische opsomming van feiten en weetjes. Interessant, maar waarschijnlijk moeilijk leesbaar.

De titel *Many Worlds in One. The Search for Other Universes* van de theoretisch kosmoloog Alex Vilenkin dekt uitstekend de speculatieve lading van zijn overigens zeer vermakelijke boek. Vilenkin, altijd al goed geweest voor een stevige portie controversie, wil ons overtuigen van de stelling dat ons heelal niet het enige is, maar slechts één in een plethora van andere universa: het multiversum. Dat doet hij met charme en overtuiging. Maar zijn betoog verliest toch enigszins aan kracht als het om de toetsbare gevolgen van dit hypothetische multiversum gaat.

Het draait allemaal om het mechanisme van kosmologische inflatie. Dat heeft inmiddels een vaste plek verworven in de standaard kosmologische theorie. Zonder inflatie, gedefinieerd als een oerfase van exponentiële expansie van het heelal, is het onverklaarbaar waarom ons heelal zo perfect vlak is, zoals metingen aan de temperatuurvariëaties in de kosmische achtergrondstraling duidelijk hebben gemaakt. Zoals gezegd, is de temperatuur van deze kosmische achtergrondstraling bijzonder uniform, een bewijs voor de hete-oerknaltheorie. Maar paradoxaal genoeg kan deze theorie niet verklaren hoe dat zo gekomen is. Inflatie is het antwoord. Inflatie verklaart ook de klaarblijkelijke afwezigheid van exotische zware deeltjes, zoals magnetische monopolen die typisch door deeltjesfysici worden voorspeld in het vroege, zeer hete, heelal. Hun verdwijningstruc is simpelweg het gevolg van de extreme verdunning van eventueel aanwezige concentraties door de exponentiële expansie van het volume tijdens inflatie.

Als klap op de vuurpijl heeft inflatie ook het antwoord op de vraag naar de oorsprong van de gemeten temperatuurfluctuaties die absoluut noodzakelijk zijn voor de vorming van structuren. Daarover doet de oerknaltheorie geen enkele uitspraak. De oplossing is spectaculair: de piepkleine dichtheidsvariëaties in het vroege heelal zijn ontstaan door de alom aanwezige kwantumfluctuaties die gedurende inflatie, door de razendsnelle expansie, zijn opgeblazen en vervolgens 'bevroren' totdat de fase van inflatie is beëindigd. Op dat moment worden ze als het ware 'gereanimeerd' om de dichtheidsvariëaties te veroorzaken. De oorzaak voor inflatie zou moeten liggen in de bijzondere eigenschappen van het hypothetische inflatonveld. Het einde van de fase van inflatie wordt ingeluid door het explosieve verval van het energierijke inflatonveld in de materie (en energie) waaruit ons heelal nu bestaat. Zo kan inflatie op natuurlijke wijze worden verbonden met het succesvolle hete-oerknalmodel.

'DE TOTALE MATERIEDICHTHEID, DE RUIMTELIJKE GEOMETRIE, DE HOEVEELHEID
DONKERE ENERGIE EN DONKERE MATERIE, DE HUBBLE-PARAMETER, ZE HEBBEN
ALLEMAAL NAUWELIJKS GEHEIMEN MEER.'

Modellen van inflatie bestaan in vele varianten. Vilenkin gaat uit van modellen met de bijzondere eigenschap dat inflatie eeuwig voortduurt. Hij gebruikt de analogie van een zich voortdurend vermenigvuldigende bacteriepopulatie. Als de typische tijd voor verdubbeling kleiner is dan de typische tijd voor halvering van de populatie, zal de populatie in theorie eeuwig groeien. Vervang bacteriën door ruimte en je hebt een aardig beeld van wat eeuwige inflatie inhoudt. In deze analogie zijn de afgestorven bacteriën gelijk aan gebieden waar inflatie is beëindigd, bijvoorbeeld een universum zoals het onze, dat niet langer exponentieel uitdijt. Het gevolg is dat modellen van eeuwige inflatie een verscheidenheid aan heelallen voorspellen, oftewel een multiversum, afgezonderd van elkaar door gebieden van (eeuwige) inflatie.

Vilenkin analyseert vervolgens de ultieme consequenties van dit revolutionaire idee, waarvan hijzelf aan de wieg stond. Een interessant verschijnsel is bijvoorbeeld dat er niet alleen oneindig veel andere universa bestaan, maar ook dat elk gevormd heelal oneindig groot is. Wij zien slechts een klein gedeelte, het zichtbare heelal, van een oneindig groot universum ingebed in een eeuwig exponentieel uitdijende kosmos. Aangezien de kwantummechanica ons vertelt dat in het zichtbare, eindig grote heelal er slechts een eindig aantal onafhankelijke mogelijkheden zijn die samen een geschiedenis vormen, leidt dit tot de onvermijdelijke en wonderbaarlijke conclusie dat ergens in het oneindige heelal 'Elvis' inderdaad nog leeft, om Vilenkins eigen woorden te gebruiken! Immers, een eindig aantal mogelijke geschiedenissen in het voor ons zichtbare heelal betekent dat elke willekeurige geschiedenis ergens in het oneindig grote heelal gerealiseerd zal zijn.

Het grote voordeel van modellen van eeuwige inflatie is dat ze de mogelijkheid bieden een verklaring te geven voor de fijnafstelling van parameters in ons heelal. De kosmologische constante is het bekendste voorbeeld. Maar ook de neutronmassa en de sterkte van de zwakke kernkracht, die ondermeer verantwoordelijk is voor radioactieve straling, lijken zeer precies afgesteld om sterrenstelsels, sterren, planeten en het ontstaan van leven mogelijk te maken. In het geval van een enkel, uniek, heelal blijft er iets ongemakkelijks kleven aan de bijzondere waarden voor al deze natuurconstanten. Maar in een multiversum, waarin elk heelal in principe zijn eigen natuurconstanten heeft, is het onvermijdelijk dat er zo nu en dan een heelal ontstaat waarin de natuurconstanten het ontstaan van melkwegstelsels en uiteindelijk het leven zelf mogelijk maken. Dit is een voorbeeld waar het zogenaamde antropische principe, dat simpelweg beweert dat ons heelal zo is zoals het is omdat wij er zijn, enige toegevoegde (maar nog altijd beperkte) waarde heeft.

Is het multiversumidee toetsbaar? Volgens Vilenkin wel, maar hier begint zijn betoog wat scheurtjes te vertonen. In een multiversum worden alle mogelijke waarden van de natuurconstanten ergens, op een bepaald moment, gerealiseerd. In theorie is het mogelijk een statistische verdeling te bepalen voor de waarden van de natuurconstanten. Gekoppeld aan de noodzakelijke voorwaarde om leven mogelijk te maken, zou dit een typische set van natuurconstanten kunnen opleveren. Typisch in de zin dat het gemiddelde, en dus meest voorkomende heelal dat leven heeft voortgebracht die waarden van de natuurconstanten zou moeten bezitten. Aangenomen dat ons heelal een typisch heelal is, zouden de natuurconstanten dus gelijk moeten zijn aan de theoretisch bepaalde gemiddelde waarden.

Kortom, de opdracht is om de theoretische verdeling te bepalen en vervolgens te toetsen of de gemeten natuurconstanten inderdaad overeenkomen met de theoretisch gemiddelde waarden. Ziedaar, een observationele test van het multiversum. Maar gelooft Vilenkin dit nu zelf? Nog afgezien van de vraag of

dit soort statistisch-theoretische berekeningen ooit gedaan zou kunnen worden, is er slechts één heelal, het onze, waaraan gemeten kan worden. Per (antropische) definitie liggen de natuurconstanten in ons heelal binnen de grenzen waar leven mogelijk is. Maar stel dat ons heelal nu geen typisch, gemiddeld, heelal is en in plaats daarvan in de staart van de verdeling ligt. Zal Vilenkin eeuwig inflatie dan opgeven? Ik vermoed van niet en dus is de relevantie van deze 'test' hoogst twijfelachtig.

Ten slotte bespreekt Vilenkin nog zijn baanbrekende werk op het gebied van de kwantumkosmologie. Daar lag hij in de clinch met de wereldberoemde natuurkundige Stephen Hawking en de kosmoloog Andrei Linde. De vraag die zich aandiende, was of het heelal uit het niets kon zijn ontstaan door een zogenaamd 'quantum tunneling' mechanisme. Dit mechanisme is de ultieme kosmologische generalisatie van het gegeven dat het in de kwantummechanica mogelijk is klassiek onmogelijk penetreerbare barrières te slechten. Gebruikmakend van dit kwantumfenomeen kwamen de heren Hawking, Linde en Vilenkin alle drie met een ander voorstel voor de kans om een heelal te creëren uit letterlijk niets. Dit onderwerp is doordrongen van speculatie en nog altijd erg controversieel. Het manco is dat deze vraag uiteindelijk niet beantwoord kan worden zonder gebruik te maken van een kwantumgravitatie-theorie zoals de snaartheorie. Helaas is de snaartheorie nog onvoldoende begrepen om in deze kosmologische context definitief uitsluitsel te geven. Het zal dus nog even wachten zijn voordat deze controversie uit de wereld is.

'AANGEZIEN IN HET ZICHTBARE, EINDIG GROTE HEELAL ER SLECHTS EEN EINDIG AANTAL ONAFHANKELIJKE MOGELIJKHEDEN ZIJN DIE SAMEN EEN GESCHIEDENIS VORMEN, LEIDT DIT TOT DE WONDERBAARLIJKE CONCLUSIE DAT ERGENS IN HET ONEINDIGE HEELAL ELVIS NOG LEEFT.'

Vilenkins boek is zeer toegankelijk, gemakkelijk leesbaar en staat bol van de amusante anekdoten. Zoals het een kwantumkosmoloog betaamt, is het speculatief van aard. Maar in het algemeen mag dat de pret niet drukken. De huidige stand van zaken in de moderne kosmologie maakt de (theoretische) verleiding erg groot om wilde, misschien zelfs op het eerste gezicht absurde, voorstellen te doen. Zoals de theoretisch fysicus en Nobelprijswinnaar Steven Weinberg eens zei: 'Our mistake is not that we take our theories too seriously, but that we do not take them seriously enough.' De ontwikkelingen volgen elkaar in snel tempo op en de wilde speculaties van vandaag kunnen de toetsbare theorieën van morgen zijn.

De kosmologie gaat een enorm opwindende toekomst tegemoet. Donkere materie, donkere energie en inflatie, ze zijn vanuit een theoretisch perspectief niet of onvoldoende begrepen. Er bestaat grote overlap met de theoretische en experimentele deeltjesfysica, maar ook met de astronomie. Binnen het theoretische kader van inflatie is de kosmische achtergrondstraling wellicht één van de weinige mogelijkheden (en misschien de enige) voor hoge-energiefysici, ja zelfs voor snaartheoretici, om hun modellen te toetsen op energieschalen ver voorbij wat ooit mogelijk zal zijn in deeltjesversnellers. Theorie en observatie gaan op dit moment in de kosmologie hand in hand. Nieuwe observaties staan gepland, waaronder de ESA Planck-satelliet. Als alles goed gaat, zal die vanaf volgend jaar de kosmische achtergrondstraling nog nauwkeuriger in kaart brengen. De tijd zal leren of het heelal nog meer verrassingen voor ons in petto heeft. Tot die tijd is er nog volop gelegenheid om waar mogelijk naar hartenlust te speculeren.

Jan Pieter van der Schaar is als onderzoeker verbonden aan de String Theorie groep van de Universiteit van Amsterdam.

Besproken boeken:

Many Worlds in One. The Search for Other Universes
door **Alex Vilenkin**
Hill and Wang. New York 2006.
248 pag., € 23,80

The Infinite Cosmos. Questions from the Frontiers of Cosmology
door **Joseph Silk**
Oxford University Press. Oxford 2006.
256 pag., € 33,50