

Einsteins blunder

Het uitdijende heelal

Over de oerknal, Einstein, De Sitter, donkere materie en donkere energie. Kosmologie in een notendop.

door Ed van den Heuvel

K

OSMOLOGIE

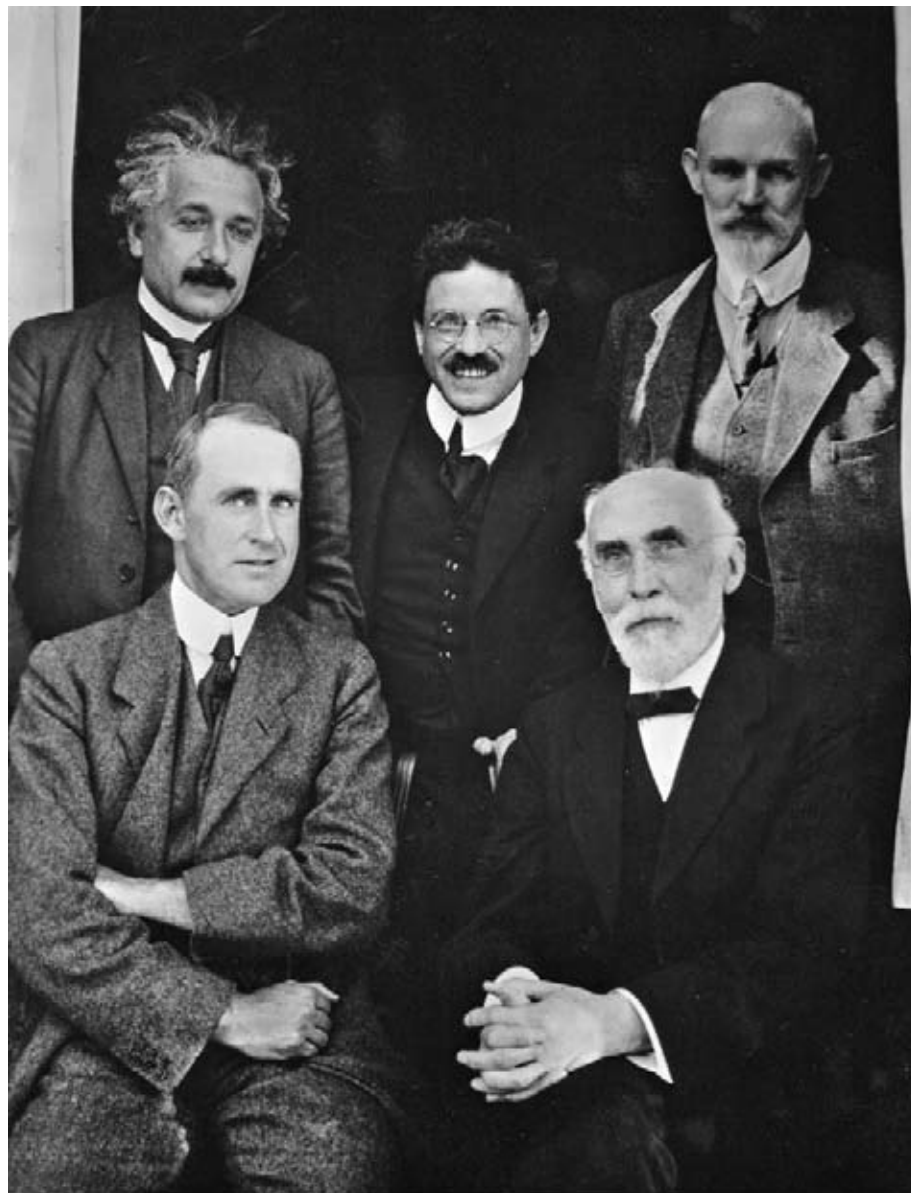
is de wetenschap die zich bezighoudt met de studie van het ontstaan, de structuur en de evolutie van het heelal. De laatste vijftig jaar is zij uitgegroeid van een voornamelijk theoretische en speculatieve activiteit tot een solide, door talloze concrete waarnemingen onderbouwde wetenschap. De dikwijls geciteerde uitspraak van de Russische natuurkundige en Nobelprijswinnaar Lev Landau: 'Cosmologists are most often wrong but never in doubt' gaat daarom niet langer op. Dit wordt wellicht het beste geïllustreerd door het feit dat al tweemaal de Nobelprijs voor natuurkunde werd toegekend voor kosmologische ontdekkingen.

In 1978 ontvingen de Amerikanen Arno Penzias en Robert Wilson deze prijs voor de ontdekking, in 1965, van de warmtestraling van de oerknal waarin ons heelal 13,7 miljard jaar geleden is ontstaan. Deze warmtestraling, in de vorm van radiogolven met golflengten van millimeters tot decimeters – de zogeheten microgolfachtergrondstraling van het heelal – is afkomstig van het tijdstip waarop het hete en snel uitdijende heelal doorzichtig werd voor straling, ongeveer 370.000 jaar na de oerknal.

De ontdekking van deze straling leverde het definitieve bewijs dat het heelal in een extreem dichte en hete oerknal is ontstaan, een eindige tijd geleden. Zij liet geen ruimte voor alternatieve modellen voor het ontstaan van het heelal, die tot dat moment nog tot de mogelijkheden hadden behoord. We hebben nu minstens vier onafhankelijke bewijzen voor de juistheid van het oerknalmodel, onder meer de al in 1929 door de Amerikaan Edwin Hubble ontdekte uitdijing van het heelal, en het feit dat de materie in het heelal voor bijna dertig procent uit helium bestaat, wat zonder het optreden van een oerknal onverklaarbaar zou zijn.

'We hebben nu minstens vier onafhankelijke bewijzen dat het heelal in een extreem dichte en hete oerknal is ontstaan, een eindige tijd geleden.'

In 2006 werd de Nobelprijs voor natuurkunde toegekend aan John Mather en George Smoot voor hun ontdekking, met behulp van NASA's Cosmic Background Explorer (COBE)-satelliet, van minuscule



Einstein, De Sitter, Lorentz, Ehrenfest en Eddington. Deze foto werd in 1923 in het huis van De Sitter genomen.

kleine rimpels in de verdeling van de sterkte van de kosmische microgolfachtergrondstraling over de hemel. Deze 'rimpels', plaatsen waar de straling één honderdduizendste zwakker of sterker is dan gemiddeld, duiden op de aanwezigheid van heel kleine, lokale verdichtingen en verdunningen in het gas van het snel uitdijende heelal op het moment dat dit doorzichtig werd, 370.000 jaar na de oerknal. De verdichtingen, die hun oorsprong vonden binnen de eerste fractie van een seconde na de oerknal, groeiden later uit tot de structuren die we nu in het heelal waarnemen: sterrenstelsels, clusters en superclusters van sterrenstelsels. De verdunningen groeiden uit tot de gapende leegten, de 'voids', die we tussen de clusters en superclusters van stelsels aantreffen.

Dat zulke verdichtingen en verdunningen al zeer kort na de oerknal moeten zijn ontstaan, werd eind jaren zestig van de vorige eeuw voorspeld door de Engelsman Joe Silk en door de Russen Rashid Sunyaev en Jacob Zeldovich (leider van de

bouw van de Russische atoom- en waterstofbom). De waarnemingen met de in 1989 gelanceerde COBE-satelliet, en vanaf 2003 met diens opvolger de Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)-satelliet, hebben deze voorspellingen schitterend bevestigd. Ze legden een solide basis onder de huidige inzichten in het ontstaan van de waargenomen structuren in het heelal.

Steven Weinbergs populaire boek *The First Three Minutes* uit 1977 – sindsdien in talloze talen vertaald en vele malen herdrukt – beschrijft hoe de ontdekking van de kosmische microgolfachtergrondstraling het bewijs leverde voor het oerknalmodel voor het ontstaan van het heelal. Weinberg toont hoe wij, dankzij de huidige wetten van de natuurkunde, samen met de gemeten sterkte van de microgolfachtergrondstraling, de geschiedenis van het heelal nauwkeurig kunnen terugberekenen tot één honderdmiljardste van een seconde na de oerknal. Vanaf dit tijdstip kan de hele geschiedenis van het heelal in principe berekend worden

COSMOLOGY

door Steven Weinberg.

Oxford University Press. New York 2008.

593 pag. € 70,50

THE VERY FIRST LIGHT. THE TRUE INSIDE STORY OF THE SCIENTIFIC JOURNEY BACK TO THE DAWN OF THE UNIVERSE

door John Mather en John Boslough.

Basic Books. New York 2008.

353 pag. € 15,30

met de bekende natuurkundige wetten. Verder terug kan (nog) niet, omdat de energieën van de deeltjes in het heelal dan groter worden dan bereikt kan worden met de grootste deeltjesversnellers op aarde. Het gedrag van de materie bij dergelijke energieën is daarom onbekend.

Door het heelal vanaf één honderdmiljardste van een seconde na de oerknal te volgen met de nu bekende natuurkunde, zien we dat in feite het overgrote deel van de materie en straling die we in het heelal waarnemen, met name de 28 procent helium en 70 procent waterstof, is gevormd in *de eerste drie minuten* – vandaar ook de titel van Weinbergs boek. Voorafgaand aan deze inmiddels klassieke publicatie schreef Weinberg, die in 1979 de Nobelprijs voor natuurkunde kreeg voor zijn ontdekkingen op het gebied van de deeltjesfysica, al een gedegen standaardleerboek over de kosmologie, getiteld *Gravitation and Cosmology* (1972).

'In principe kunnen we nu vanaf één honderdmiljardste van een seconde na de oerknal de hele geschiedenis van het heelal berekenen.'

Weinbergs recente *Cosmology* is een geheel nieuwe en monumentale studie die alle huidige kennis over de geschiedenis van het heelal, vanaf de vroegste deeltjesfysicaprocessen in de oerknal, samenvat en grondig behandelt. De fundamenteel fysische achtergronden van de creatie van het overschot van materie over antimaterie in het heelal, de fysica van het ontstaan van de rimpels in de achtergrondstraling en de daaropvolgende berekening van structuurvorming in het heelal – ze worden allemaal in dit standaardwerk behandeld. Voorafgaand aan deze sterk theoretisch-wiskundige uiteenzetting geeft Weinberg ook een mooi overzicht van alle relevante kosmologische waarnemingen.

Kosmologie als echte wetenschap begon in 1917. In dat jaar paste Einstein zijn nieuwe theorie voor de zwaartekracht en versnelde bewegingen, de algemene relativiteitstheorie, toe op het heelal. Hij had

hierbij aangenomen dat op grote schaal gezien de materie, in de vorm van sterren, gas et cetera, in het heelal gelijkmatig over de ruimte is verdeeld. Dit is een in de theoretische kosmologie algemeen gebruikte vooronderstelling die, zoals later is gebleken, in zeer goede benadering opgaat voor het heelal als geheel.

Op grond van deze veronderstelling vond Einstein uit zijn berekeningen dat, als gevolg van de zwaartekrachtsaantrekking die alle materiedeeltjes op elkaar uitoefenen, het heelal niet stabiel is maar gaat instorten. Hij vroeg daarom aan zijn sterrenkundige collega's of zij een dergelijke instorting waarnamen. Toen het antwoord hierop ontkennend luidde (het destijds bekende heelal betrof alleen ons eigen Melkwegstelsel en hierin is niets van een instorting waar te nemen), meende Einstein dat zijn algemene relativiteitstheorie onvolledig was en dat er nog iets extra's aan toegevoegd moest worden. Hij voegde toen aan de wiskundige vergelijkingen van zijn theorie een term toe, aangeduid met de Griekse letter Λ (lambda). Op grote schaal gezien gedraagt die zich als een soort zwaartekracht van de lege ruimte en werkt *afstotend*, in tegenstelling tot de gewone, aantrekkende zwaartekracht. Deze afstotende zwaartekracht compenseert op de schaal van het heelal de aantrekkende zwaartekracht tussen de sterren en de sterrenstelsels, zodat hiermee Einsteins model van het heelal voor instorting werd behoed.

Althans, dat dacht Einstein. Maar toen kwam de Nederlandse hoogleraar Willem de Sitter, die in 1917 liet zien dat door toevoeging van de Λ -term het heelal niet in evenwicht blijft, maar gaat uitdijen. Einstein en De Sitter voerden in die tijd een uitvoerige correspondentie over Einsteins theorie en de toepassing hiervan op het heelal. Jan Guichelaars recent verschenen, prachtige biografie, getiteld *De Sitter. Een alternatief voor Einsteins heelalmodel*, gaat overigens uitgebreid in op onder meer het werk van De Sitter en zijn relatie met Einstein.

'In de eerste drie minuten is het overgrote deel van de materie en straling die we in het heelal waarnemen gevormd.'

De Sitters ontdekking van de uitdijning betekende in feite dat het 'evenwicht' dat Einstein in zijn heelalmodel meende te hebben gevonden tussen de aantrekkende en afstotende zwaartekrachten niet stabiel is maar instabiel. Een stabiel evenwicht is bijvoorbeeld dat van een schommel: brengen we een schommel uit de evenwichtstoestand, waarbij hij verticaal hing, en laten we hem los, dan gaat hij vanzelf terug naar de verticale stand. Een instabiel evenwicht is bijvoorbeeld dat van een potlood met een platte punt, dat men precies recht zet op deze punt. Bij de geringste verstoring zal het potlood omvallen en nooit meer

teruggaan naar zijn oorspronkelijke evenwichtstoestand.

Het evenwicht van Einsteins heelalmodel was van deze laatste soort: bij de geringste verstoring gaat óf de aantrekkende zwaartekracht winnen en stort het heelal in, óf wint de afstotende Λ -zwaartekracht en gaat het uitdijen – en De Sitter had deze laatste oplossing gevonden. Einsteins vooroordeel was geweest dat het heelal iets eeuwig en statisch zou moeten zijn, en dus niet zou mogen inkrimpen of uitzetten. Dit vooroordeel van een statisch en eeuwig heelal is intuïtief heel natuurlijk. Einsteins verzet tegen dynamische heelalmodellen hield hij nog vol tot 1929, toen Hubble ontdekte dat het heelal uitdijt, en dus niet statisch is.

In de tussentijd had in 1923-1924 de Russische natuurkundige Alexander Friedmann ontdekt dat ook Einsteins oorspronkelijke vergelijkingen van de algemene relativiteitstheorie, zonder de afstotende Λ -term, ertoe leiden dat het heelal kan uitzetten. Friedmann had in zijn berekeningen verondersteld dat het heelal *dynamisch* mag zijn, dat wil zeggen: dat de afstanden tussen de sterrenstelsels mogen veranderen in de loop der tijd. Hij vond toen dat er voor een uitdijend heelal drie mogelijkheden zijn, afhankelijk van de verhouding tussen de bewegingsenergie van de van elkaar wegvliegende sterrenstelsels en de (negatieve) energie van hun onderlinge zwaartekrachtsaantrekking. Als de bewegingsenergie plus de negatieve zwaartekrachtsenergie samen groter zijn dan nul, heeft het heelal positieve energie en blijft het eeuwig uitdijen – zelfs als het oneindig groot geworden is, vliegen de stelsels nog steeds van elkaar weg. Dit noemt men een *open* heelal. Is de som van de bewegingsenergie plus de zwaartekrachtsenergie kleiner dan nul, dan wint ten slotte de zwaartekracht het van de uitdijning: de uitdijning komt dan op een zeker moment tot stilstand, waarna het heelal gaat instorten. Dit noemt men een *gesloten* heelal. En ten slotte, als de som van de bewegingsenergie en de zwaartekrachtsenergie precies nul is, blijft het heelal juist nog eeuwig uitdijen, maar als het zeer groot (oneindig groot) geworden is, komt de uitdijning precies tot stilstand. Dit is wat men noemt een *vlak* heelal. Einstein had gemeend dat Friedmanns werk weinig belang had voor het heelal.

Toen Hubble in 1929 zijn ontdekking van de uitdijning van het heelal bekendmaakte, realiseerde Einstein zich pas werkelijk de juistheid van Friedmanns werk en dat er voor een uitdijend heelal helemaal geen Λ -term nodig is. Veel later heeft hij tegen de naar de Verenigde Staten gevluchte Russische natuurkundige George Gamow opgemerkt dat de invoering van de Λ -term in zijn vergelijkingen de grootste blunder van zijn leven was geweest. Merkwaardig genoeg is de laatste jaren gebleken dat deze 'blunder' van Einstein toch geen blunder geweest is, en dat er zoiets als Einsteins afstotende Λ -zwaartekracht in de lege ruimte van het heelal aanwezig is, die het heelal versneld doet uitdijen. Hierdoor is De Sitters heelalmodel, dat sinds de jaren dertig van de vorige eeuw in vergetelheid was geraakt, ineens weer zeer actueel geworden.

Hubble ontdekte in 1929 dat de roodverschuiving van de spectra van sterrenstelsels toeneemt als de afstand van de stelsels groeit. De roodverschuiving van het licht is een gevolg van het Doppler-effect: als een lichtbron zich van ons af beweegt, lijken vanuit ons gezien de lichtgolven die de bron uitzendt *langer* te zijn geworden. Licht van *langere* golflengte is *roder*, zodat men dan spreekt van een *roodverschuiving* van het spectrum van het sterrenstelsel. Uit de mate van roodverschuiving kan men de *snelheid* waarmee het sterrenstelsel van ons wegvliegt berekenen. (Eenzelfde soort snelheidsmeting met het Doppler-effect gebruikt de politie

gen met grote snelheden, van soms wel duizenden kilometers per seconde; Hubbles ontdekking was dat deze snelheden met de afstand toenemen. De best bepaalde tegenwoordige waarde van deze toename, aangeduid met de letter H van Hubble, is ongeveer 20 km/seconde per miljoen lichtjaar: als de afstand van een sterrenstelsel een miljoen lichtjaar groter is, vliegt het gemiddeld weg met een 20 km/seconde grotere snelheid. Deze grootte H wordt de 'constante van Hubble' genoemd. De eenvoudigste verklaring voor deze 'roodverschuivingswet' van Hubble is dat het heelal bezig is uit te dijen.

Zou deze uitdijning altijd met dezelfde snelheid zijn gegaan, dan lagen twee punten in het heelal die nu een miljoen lichtjaar uit elkaar liggen, twintig miljard jaar geleden tegen elkaar aan. Alle materie van het heelal zou dan twintig miljard jaar geleden op één kluit bijeen hebben gezeten. Corrigeren we voor het feit dat als gevolg van de onderlinge zwaartekrachtsaantrekking tussen de sterrenstelsels de snelheid van uitdijning in de loop der tijden is afgenomen, dan vinden we dat dit tijdstip korter geleden was: 13,7 miljard jaar geleden. Toen zat alle materie van het heelal kennelijk samen gebald in een kluit van onvoorstelbaar hoge dichtheid, die op dat moment om een voor ons onbekende reden is uiteengespat. Dit idee van een heelal met een begin in een oerknal of 'big bang' werd in 1931 voor het eerst voorgesteld door de

'Einsteins vooroordeel van een statisch en eeuwig heelal is intuïtief heel natuurlijk.'

dagelijks bij het meten van snelheden van auto's op de snelweg; men gebruikt hiervoor de golflengteverschuiving van radargolven: een soort 'licht' van lange golflengte.)

Al vroeg in de jaren twintig van de vorige eeuw had de Amerikaan Vesto Slipher ontdekt dat de sterrenstelsels bij ons in de buurt zich allemaal van ons af bewe-

Schrijven vrouwen beter dan mannen?

Schrijvende vrouwen laat de lezer in 61 schrijversportretten kennismaken met de breedte en rijkdom van de Nederlandstalige literatuur sinds 1880. Dit boek toont de grote variëteit aan vrouwelijke stemmen in de moderne Nederlandse en Vlaamse literatuur.

Onder redactie van Jacqueline Bel en Thomas Vaessens komt een groot aantal specialisten aan het woord die willen ontsnappen aan de gedachte dat de geschiedenis van de Nederlandse literatuur het verhaal is van voornamelijk mannelijke schrijvers.



ISBN 978 908964 216 5
320 pagina's | €29,50

Uitgegeven door Amsterdam University Press
www.aup.nl

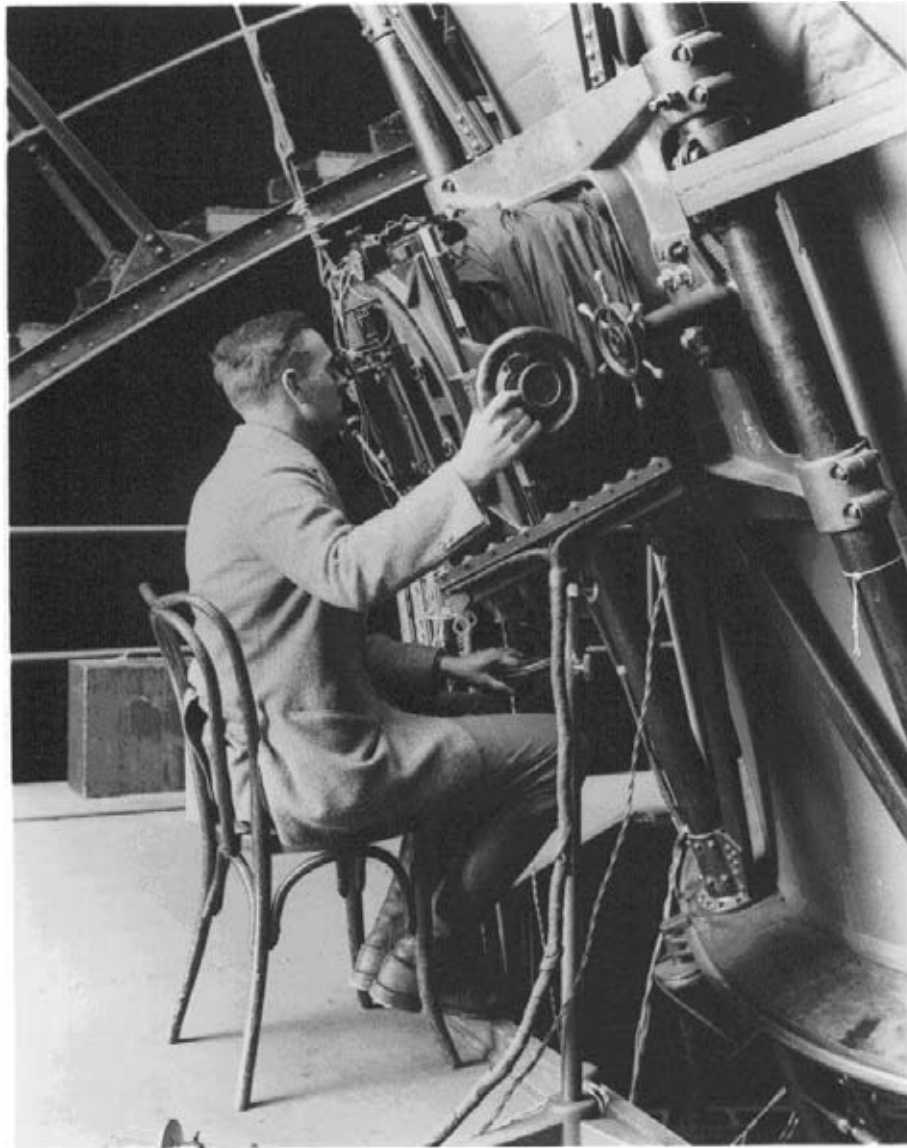
Belgische geestelijke en astronoom George Lemaître van de Katholieke Universiteit Leuven.

De eerste die serieus aan de natuurkunde van het zeer dichte vroege heelal ging rekenen, kort na de Tweede Wereldoorlog, is de al genoemde Gamow, een groot natuurkundige en begaafd popularisator van wetenschap. Hij is onder meer de ontdekker van het tunnелеffect bij kernreacties en stelde als eerste het 'vloeistofdruppelmodel' voor atoomkernen voor, voor het begrijpen van kernsplijting. Dit model werd later met succes verder uitgewerkt door Niels Bohr en Johnny Wheeler en was van groot belang voor de ontwikkeling van de atoombom.

Een goed overzicht van Gamows wetenschappelijke bijdragen bevat de te zijner nagedachtenis door Frederick Reines samengestelde bundel *Cosmology, Fusion and Other Matters* (1972). Gamow en zijn leerlingen Ralph Alpher en Robert Herman ontdekten tussen 1946 en 1949 bij hun berekeningen aan de oerknal – waarbij ze ervan uitgingen dat het heelal begonnen is als een bal neutronen – dat hier een enorm hoge temperatuur geheerst moet hebben en dat er een enorm groot overschot van straling over materie geweest moet zijn. Dit grote stralingsoverschot – bij deze temperaturen voornamelijk gammastraling – was nodig om ervoor te zorgen dat de materie in het heelal voor het grootste deel (zeventig procent) uit waterstof bleef bestaan. Was die gammastraling er niet geweest, dan zouden de waterstofatoomkernen en -neutronen snel tot zwaardere kernen gefuseerd zijn en zouden we niet nu nog een overschot aan waterstof in het heelal aantreffen. Om meer dan zeventig procent nu nog aanwezige waterstof te verkrijgen, moeten er in het heelal ongeveer een miljard fotonen aanwezig zijn voor één kerndeeltje (waterstofkern of neutron).

‘Voor een uitdijend heelal zijn er drie mogelijkheden: een open, gesloten of een vlak heelal.’

Alpher en Herman berekenden in 1949 dat deze fotonen uit de oerknal ook tegenwoordig nog in het heelal aanwezig moeten zijn in de vorm van microgolven: radiogolven met golflengten van millimeters tot decimeters. Hun berekeningen toonden dat in de eerste 300.000 jaar na de oerknal de materie in het heelal nog zodanig dicht opeengepakt zat dat een lichtstraal hierin al na korte tijd weer geabsorbeerd of verstrooid werd. Ze berekenden dat na ongeveer 300.000 jaar uitdijen het heelal echter zo ver verdund was dat een lichtstraal vanaf dat moment het gehele heelal kon doorlopen zonder ooit nog een atoom of elektron tegen te komen. De lichtdeeltjes (fotonen) die destijds in het heelal aanwezig waren, moeten er daarom ook nu nog zijn. De temperatuur van het heelal op het moment dat het doorzichtig werd, was ongeveer 3000 K (een temperatuur in Kelvin (K) noemt



Edwin Hubble kijkt door de 100-inch telescoop van de Mount Wilson sterrenwacht (1923).

men de absolute temperatuur, deze is gelijk aan die in Celsius plus 273 graden; de absolute temperatuur nul Kelvin ligt dus bij -273 C; elk voorwerp met een absolute temperatuur boven nul Kelvin straalt warmtestraling uit.)

De warmtestraling bij een temperatuur van 3000 K is rood licht. Alpher en Herman berekenden dat sinds het doorzichtig worden, het heelal ongeveer een factor 600 groter is geworden. Hierdoor zijn de rode lichtgolven uit die tijd een factor 600 opgerekt, en zijn ze nu radiogolven geworden met golflengten van millimeters tot decimeters, die lijken te horen bij een temperatuur van 3000 K gedeeld door 600, dus ongeveer 5 K. Hun voorspelling in 1949 was dus dat er in het heelal nog zeer veel radiogolven aanwezig moeten zijn, gelijkelijk verdeeld over de gehele hemel, afkomstig van 300.000 jaar na de oerknal. (Tegenwoordig weten we dat dit tijdstip iets later was: 370.000 jaar na de oerknal, maar deze voorspelling zat er toch al heel dicht bij.)

Het is deze 'microgolfachtergrondstraling' van de oerknal die Penzias en Wilson in 1965 bij toeval met hun radiotelescoop ontdekten en die de huidige, nog steeds voortdurende revolutie in de kosmologie heeft teweeggebracht. De werkelijk door de COBE-satelliet gemeten 'temperatuur' van deze microgolfachtergrondstraling is 2,75 Kelvin, ongeveer de helft van wat Alpher en Herman voorspelden, maar toch verrassend dicht in de buurt. (Hieruit weten we dat het heelal sinds het doorzichtig werd ongeveer 1100 maal groter is geworden, in plaats van de 600 maal die Alpher en Her-

man voorspelden.) Deze straling is zo sterk dat je haar zelfs al met een televisieantenne op je dak kunt meten: bij iemand die nog een gewone antenne op het dak heeft staan, is een aantal procenten van de op zijn televisie zichtbare 'sneeuw' afkomstig van de microgolfachtergrondstraling van de oerknal. Je kunt met zo'n televisie de oerknal dus nog live zien!

Hoewel de ontdekking van de microgolfachtergrondstraling van de oerknal een enorme triomf was, en het oerknalmodel als enige nog acceptabele oplossing voor de oorsprong van ons heelal is overgebleven, zijn er nog vele grote, onopgeloste problemen in de kosmologie. Dit betreft

‘Zou de uitdijng altijd met dezelfde snelheid zijn gegaan, dan lagen twee punten die nu een miljoen lichtjaar uit elkaar liggen, twintig miljard jaar geleden tegen elkaar aan.’

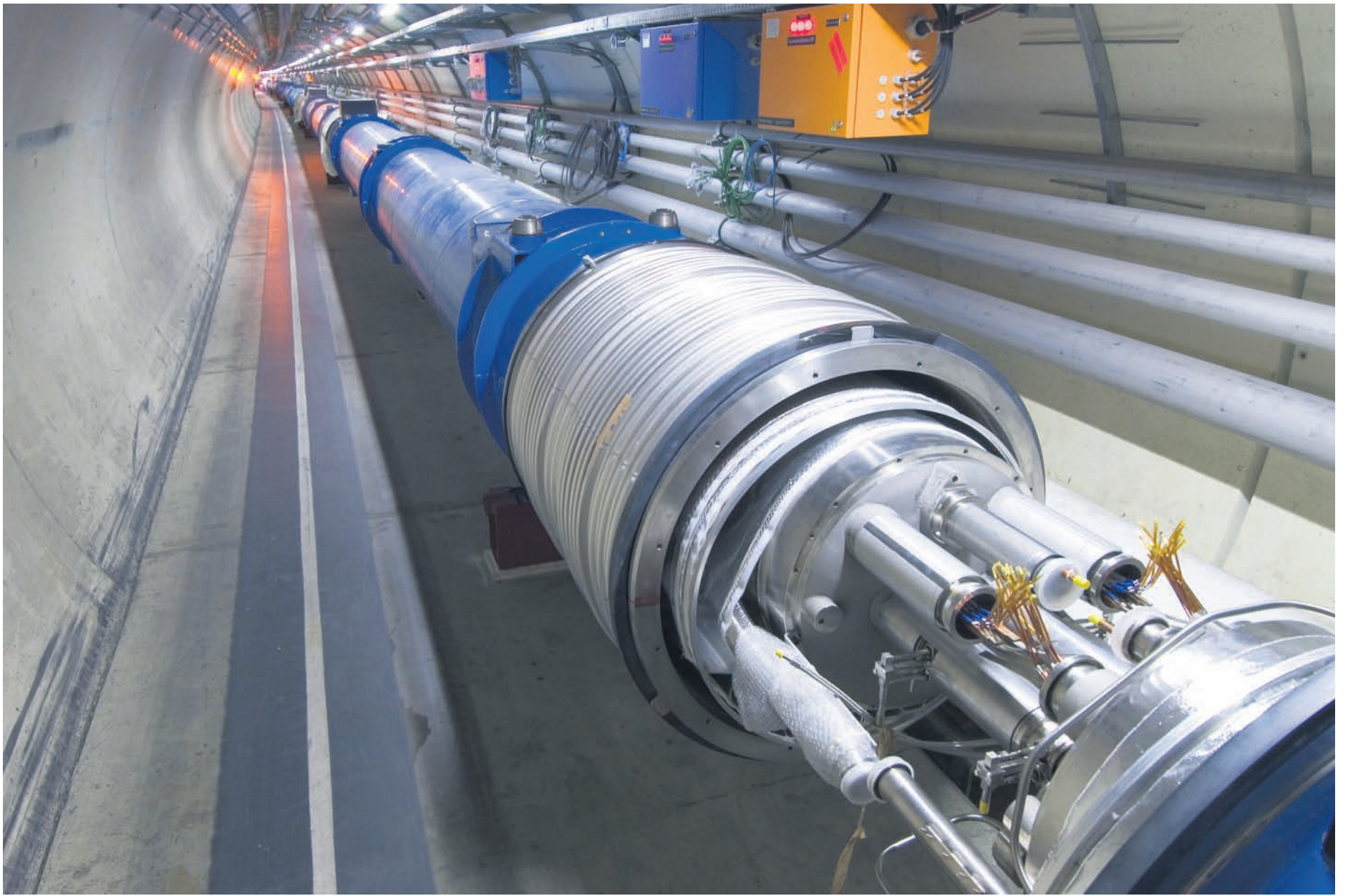
met name het bestaan van de 'donkere materie' in sterrenstelsels en in clusters daarvan, en het bestaan van 'donkere energie' die het heelal versneld doet uitdijen.

Het bestaan van donkere materie werd al in de jaren dertig van de vorige eeuw voor ons Melkwegstelsel ontdekt door de Leidse astronoom Jan Oort, en voor clusters van sterrenstelsels door de Zwitsers-Amerikaanse astronoom Frits Zwicky. Het bestaan ervan is afgeleid uit de extra zwaartekracht die deze materie uitoefent op de 'gewone' materie van sterren en gas in de sterrenstelsels. Het is gebleken dat in clusters van sterrenstelsels, en in het heelal als geheel, ongeveer zesmaal zoveel van deze donkere materie aanwezig is als gewone materie, bestaande uit de ons welbekende atomen. Maar we weten zeker dat het hier niet om gewone materie gaat. Vermoedelijk bestaat deze donkere materie uit een nog onbekend soort elementaire deeltjes, afkomstig uit de oerknal, die behalve de zwaartekracht aantrekkende geen enkele andere wisselwerking met gewone materie hebben.

‘De laatste jaren is gebleken dat de “blunder” van Einstein toch geen blunder geweest is.’

Het bestaan van de 'donkere energie' werd in 1998 ontdekt aan de verzwakking van het licht van ver weg gelegen exploderende sterren, de zogenoemde supernovae van het Type Ia. Het licht van deze verre supernovae is zwakker dan men zou verwachten als het heelal alleen zou voldoen aan Einsteins algemene relativiteitstheorie, dat wil zeggen: aan één van de drie mogelijke Friedmann-modellen, zonder extra krachtvelden. Men kan de lichtverzwakking van deze supernovae alleen passend met heelalmodellen maken als men aan de Friedmann-modellen nog een extra kracht toevoegt, die het heelal versneld doet uitdijen. Deze kracht lijkt sprekend op de afstotende Λ -zwaartekracht die Einstein in 1917 invoerde en die hij later zijn grootste blunder noemde. Het blijkt dat – uitgedrukt in energiemaat – meer dan zeventig procent van alle energie in het heelal in deze 'donkere energie' is opgeslagen, een vorm van vacuümenergie waarvan de oorsprong nog volledig onbekend is. Ongeveer vier procent van de energie van het heelal zit in de ons bekende, 'gewone', uit atomen bestaande materie, en de rest, circa een kwart van alles, is 'donkere materie', waarvan we niet weten wat het is. Alles bijeengenomen is dus 96 procent van de inhoud van het heelal nog volledig onbekend!

Niettemin is gebleken dat de donkere materie een onmisbaar ingrediënt van het heelal is voor zowel ons begrip van het ontstaan van rimpels in de kosmische achtergrondstraling als voor het ontstaan van de sterrenstelsels. Berekeningen laten zien dat het de klontering van de donkere materie is die de klontering van de gewone materie, in de vorm van sterrenstelsels en clusters, heeft mogelijk gemaakt. Was de zwaartekracht van de donkere materie er niet geweest, dat zouden verdichtingen in het uitdijende



Deel van de 27 kilometer lange tunnel van de CERN-deeltjesversneller.

heelal al in de eerste paar honderdduizend jaar na de oerknal, tijdens de nog ondoorzichtige fase van het heelal, zijn uitgewist en zouden de rimpelingen in de kosmische achtergrondstraling afwezig zijn geweest. Ook zouden in een later stadium dergelijke rimpelingen nooit tot

‘13,7 miljard jaar geleden zat alle materie van het heelal kennelijk samen gebald in een kluit van onvoorstelbaar hoge dichtheid, die op dat moment om onbekende reden is uiteengespat.’

sterrenstelsels en clusters kunnen zijn uitgegroeid. De grootte van de nu gemeten rimpelingen past precies bij een heelal met 96 procent donkere materie plus donkere energie, en dit is een onafhankelijke extra aanwijzing dat deze twee mysterieuze ingrediënten in het heelal aanwezig zijn.

Het boek *The Extravagant Universe* uit 2002 van Harvard-hoogleraar Bob Kirshner beschrijft het spannende verhaal van de ontdekking, in 1998, van de donkere

energie, geschreven door een van de ontdekkers zelf. Kirshner is behalve een uitstekend wetenschapper een voortreffelijk popularisator, en zijn boek is hiervan een schitterend voorbeeld.

Hetzelfde geldt voor *The Very First Light* van John Mather (en coauteur John Boslough) die, zoals gezegd, samen met George Smoot met de COBE-satelliet de rimpels in de kosmische achtergrondstraling ontdekte en hiervoor in 2006 zowel de Gruber Cosmology Prize als de Nobelprijs kreeg. Daarentegen is Smoots boek (met coauteur Keay Davidson) *Wrinkles in Time* een snel in elkaar geflanst populair verhaal van een man die zichzelf voortdurend in de schijnwerpers zet. Mather – een bescheiden persoonlijkheid – was de werkelijke leider van het 1600 man grote COBE-team, terwijl Smoot de credit voor dit project naar zich toe probeerde te trekken. In strijd met alle vooraf in het team gemaakte afspraken gaf hij in zijn eentje voortijdig persconferenties over de ontdekking van de rimpels in de achtergrondstraling. Hierin deed hij zijn beroemde uitspraak ‘I have seen the face of God’, die de voorpagina’s van kranten over de hele wereld haalde.

The Very First Light is ook interessant omdat Mather en Boslough laten zien dat zelfs in een wetenschap die zich bezighoudt met zoïets objectiefs als de studie van de geschiedenis van het heelal, allerlei menselijke factoren een rol kunnen spelen die in een echt gezamenlijk ‘zoeken naar waarheid’ geen rol zouden

mogen spelen, zoals eerzucht en soms zelfs het regelrecht verdraaien van de feiten. Een goed voorbeeld dat zij hiervan geven, is het geval van Princeton-hoogleraar Jim Peebles, die in 1964-1965 het bestaan van de kosmische microgolf-achtergrondstraling van de oerknal opnieuw berekende (hij voorspelde een temperatuur van 10 K), zonder hierbij met ook maar één woord te verwijzen naar het werk van Gamow en diens leerlingen Alpher en Herman. In latere jaren probeerde Peebles steeds het werk van deze drie te negeren en dat van hemzelf als ‘voorspeller’ van de achtergrondstraling naar voren te schuiven. Mather en Boslough beschrijven dit soort machinaties heel aardig in hun boek, een echte aanrader.

Ed P.J. van den Heuvel is emeritus hoogleraar sterrenkunde aan de Universiteit van Amsterdam.

ABG = Open Access

De ABG is een Open Access tijdschrift. U kunt alle artikelen op de website kosteloos downloaden en vrij gebruiken in het onderwijs.

Gelieve bij bronvermelding de volgende gegevens te vermelden: auteursnaam, nummer waarin het artikel is gepubliceerd en de uitgever Amsterdam University Press.

www.academischeboekengids.nl

Overige literatuur

- G. Gamow. *My World Line. An Informal Autobiography*. Viking Press. New York 1970.
- J. Guichelaar. *De Sitter. Een alternatief voor Einsteins heelalmodel*. Veen Magazines. Diemen 2010. (Zie ook de bespreking van deze biografie door A. Blaauw in *NRC Handelsblad*, 13 februari 2010.)
- R.P. Kirshner. *The Extravagant Universe. Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Cosmos*. Princeton University Press. Princeton 2002.
- F. Reines (red.). *Cosmology, Fusion and Other Matters. George Gamow Memorial Volume*. Colorado Associated University Press. Boulder, CO 1972.
- G. Smoot en K. Davidson. *Wrinkles in Time. Witness to the Birth of the Universe*. Harper. New York 2007. (Oorspr. 1993.)
- S. Weinberg. *Gravitation and Cosmology. Principles and Applications of the General Theory of Relativity*. John Wiley & Sons. New York 1972.
- S. Weinberg. *The First Three Minutes. A Modern View of the Origin of the Universe*. Basic Books. New York 1977.