

*De Academische Boekengids* 39, juni 2003, pp. 3-4.

**Een doorbraak in de kosmologie maakt duidelijk wat we niet weten. Is dat een blamage voor de fysica?**

Ons wereldbeeld is de afgelopen maanden ingrijpend veranderd, en dan hebben we het niet over de Tweede-Kamerverkiezingen of de wereldpolitiek. Met de kenmerkende bescheidenheid van de wetenschap is een aantal grote vragen beantwoord die de mens vanaf de vroegste tijden heeft beziggehouden, ook al kan men zich afvragen wie de rust kon opbrengen naar het antwoord te luisteren. Ergens ondergesneeuwd in het lokale nieuws van de planeet aarde, tussen Bush, Bagdad, Balkenende en Beatrix, werden op 12 februari de eerste metingen aangekondigd van de Amerikaanse Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) satelliet, die met grote precisie de ouderdom, ontstaansgeschiedenis, grootte en vorm van ons heelal heeft vastgesteld.

Zo is nu bekend dat 'wij', dat wil zeggen alle materie en straling, 'onze kosmische habitat' om met een van de hier besproken boeken te spreken, ja, zelfs de tijd, 13,700 miljoen jaar oud zijn - een getal dat is vastgesteld met een nauwkeurigheid van 200 miljoen jaar. Dat is een leeftijdsbepaling met de precisie van een geologische schaal, zeg maar plus of minus de dinosauriërs. Vergelijk dit perspectief met de berekening van de Ierse aartsbisschop James Ussher, die in 1650 de vele generaties in de oudtestamentische bijbelboeken optelde en concludeerde dat de schepping begon bij de dageraad van 23 oktober in het jaar 4004 voor Christus. Natuurlijk was de leeftijd van het universum al langer bij benadering bekend - ergens tussen de 10 en 15 miljard jaar - maar onderschat niet de kracht van de extra decimaal. Over een aantal jaren zal de 13,7 miljard jaar een culturele icoon worden, net als de 4,5 miljard jaar die onze aarde bestaat, een getal dat trouwens met dezelfde 1% precisie bepaald is.

*'Dit is een stille wetenschappelijke revolutie, die om een homerische vergelijking vraagt.'*

De WMAP satelliet bracht ons nog allerlei ander fascinerend nieuws. Zo blijkt maar 4% van de totale energie in het heelal te bestaan uit de vertrouwde deeltjes waaruit alle sterren en planeten zijn samengesteld. De resterende 96% is simpelweg van onbekende aard en vormt een enorme uitdaging, maar ook een beetje een blamage voor de moderne fysica. Het laat weer eens zien hoe zelfs volwassen disciplines als de natuurkunde en de sterrenkunde - door velen gezien als een min of meer afgeronde zaak - slechts kleine eilanden van kennis in een zee van onwetendheid zijn. Maar dit onbegrip is nu wel precies gemaakt, en dat is toch weer de unieke kwaliteit van de wetenschap. Zo bestaat 23% van de vermiste energie uit zogeheten koude, donkere materie: nieuw te ontdekken deeltjes waarvan we weinig anders weten dan dat ze elkaar via de zwaartekracht aantrekken. De overgebleven 73% wordt gevormd door een mysterieuze vorm van onzichtbare pure energie, 'donkere energie' gedoopt. Deze energie is waarschijnlijk het gevolg van de kortlevende deeltjes die, gedoogd door de soepele wetten van de kwantummechanica, continu ontstaan en weer verdwijnen in het vacuüm. De veerkracht van deze donkere energie die in de lege ruimte ligt opgesloten, doet het heelal als een soort ineengedrukte spons versneld uitdijen.

Dit alles is een stille wetenschappelijke revolutie, die om een homerische vergelijking vraagt. Soms ziet de reiziger vanuit de verte een in mist gehuld landschap opdoemen dat een tijd lang object van wilde speculatie wordt. Is het een bergtop of een wolkenformatie, een meer of een gletsjer? De verbeelding probeert wanhopig uit de beschikbare informatie een beeld te vormen. Dan plotseling breken de mistflarden uiteen en vallen de visuele puzzelstukjes een voor een in elkaar. In het korte moment voordat het landschap in alle details zichtbaar wordt en alle ambiguïteiten verdwijnen, is men gevangen in een gebied tussen onzekerheid en zekerheid, tussen ongeremde verbeelding en de trivialiteit van een voor iedereen zichtbaar feit.

In een dergelijke 'ontluikende' fase bevindt zich op dit moment de kosmologie, het wetenschapsgebied dat niets minder dan het heelal zelf als studieobject beschouwt. Kosmologie was tot voor kort een vakgebied dat van louter speculatie aan elkaar hing. Zo plaatste onze Nobelprijswinnaar Martinus Veltman het nog een paar jaar geleden 'ergens tussen de economie en de parapsychologie'. Een kosmoloog was *'often wrong, but never in doubt'* en werkte volgens de principes van de grote cultuurfilosoof Marx (Groucho, niet Karl), van wie de onsterfelijke woorden zijn: *'These are my principles, and if you don't like them,... I have others.'* Men heeft dan ook geleerd kosmologische voorspellingen met een gezonde dosis sceptis tegemoet te treden.

Maar deze situatie is snel aan het omslaan. In de afgelopen jaren zijn veel belangrijke waarnemingen gedaan en er staan er nog meer op stapel, zowel vanuit satellieten als vanaf de aarde. Uit deze resultaten zijn met een indrukwekkend aantal decimalen de karakteristieken van het heelal af te lezen. De verwachting is dan ook dat de kosmologie binnen een paar jaar een volledige *make-over* zal hebben

ondergaan tot een respectabel, kwantitatief vakgebied.

Deze transformatie is mijns inziens een ongekennde revolutie in vergelijking tot andere revoluties in de natuurwetenschap. Men kan denken aan de enorme impact in de fysica van de ontwikkeling van de kwantummechanica of het standaardmodel van de elementaire deeltjesfysica. Of aan de kwantumsprongen in de biologie - zoals de evolutietheorie van Darwin en de ontrafeling van het DNA molecuul door Crick en Watson - die de moderne basis vormen van het begrip van het leven. Als binnenkort alle kengetallen van het heelal bekend zijn, zal dit 'kosmische standaardmodel' onderdeel worden van de natuurwetenschappelijke canon en heeft de mens een belangrijke plaatsbepaling in de orde der dingen gevonden.

Centraal in deze revolutie staat de kosmische achtergrondstraling: een zee van lichtdeeltjes die een relict (en ook een beetje een relict) vormt van de big bang. Ongeveer 380.000 jaar na de oerknal zijn deze fotonen ontstaan en sindsdien vliegen ze ongehinderd door de kosmos totdat ze in onze aardse satellieten gevangen worden. Dit bad van straling waarin het gehele heelal is ondergedompeld - nogal frisjes met een temperatuur van slechts 2,75 graden boven het absolute nulpunt - is het allergrootste en alleroudste ons bekende fossiel. En het hoeft niet opgegraven te worden, want het staat levensgroot aan de hemel. Alleen als we in de nabije toekomst zwaartekrachtsgolven en neutrino's gaan meten, bijna onzichtbare spookdeeltjes die dwars door alle materie heen gaan, zullen we nog dieper in het verleden kunnen kijken.

Toch werd deze vingerafdruk van de schepping eerst nog verward met duivenpoep. In 1965 waren in het plaatsje Holmdel in New Jersey de twee Amerikaanse telecom-ingenieurs Arno Penzias en Robert Wilson in opdracht van de befaamde Bell Labs met een nieuwe microgolfontvanger aan het werk. Het apparaat werd gebruikt om de eerste communicatie per satelliet te testen. Er was een storend achtergrondsignaal in hun ontvanger dat ze maar niet wisten kwijt te raken. Ze probeerden van alles. Onder andere verwijderden ze een laag van wat ze later een 'bijzonder goed isolerend organisch medium' zouden noemen. Zonder dat ze het wisten, hadden deze ingenieurs het eerste signaal van de oerknal opgevangen en hiermee de moderne experimentele kosmologie ingeluid.

*'Nu bekend is dat 'wij' 13,7 miljard jaar oud zijn, zal over een aantal jaren de leeftijd van het universum een culturele icoon worden, net als de 4,5 miljard jaar die onze aarde bestaat.'*

Het idee dat het heelal door een oerknal is ontstaan en dat er nog restanten van dit explosieve begin aanwezig zouden moeten zijn, werd eind jaren twintig voor het eerst door de Waalse priester (met een MIT doctoraat) George Lemaître geopperd - overigens een interessant gegeven voor een discussie over de relatie tussen geloof en kosmologie. Hij vergeleek het huidige heelal met een zojuist beëindigde vuurwerkvoorstelling en zag ons 'vanaf een goedafgekoelde sintel kijken naar de afkoelende zonnen terwijl we ons de verdwenen briljante oorsprong van de wereld probeerden voor te stellen'. Het was daarna vooral de Russisch-Amerikaanse fysicus George Gamov die het idee propageerde dat de big bang een vingerafdruk moet hebben nagelaten in de vorm van een alles omringend bad van straling. De temperatuur werd toen geschat tussen de één en tien graden boven het absolute nulpunt.

Uiteindelijk maakte de fysicus Robert Dicke in Princeton de eerste concrete plannen voor de directe waarneming van dit verschijnsel. Toen men al vergevorderd was met de constructie van een speciaal ontworpen microgolfdetector en zodoende geen verdere concurrentie vreesde, mocht een van Dicke's medewerkers, de theoreticus Jim Peebles, er een voordracht over geven. Via de informele tamtam bereikten zijn ideeën ook Penzias en Wilson, die op dat moment zaten te worstelen met het onverklaarbare stoorsignaal van hun apparaat, dat ironisch genoeg Dicke zelf twintig jaar eerder ontworpen had. De fysici uit Princeton wisten niet dat op dertig mijl afstand hun experiment al was uitgevoerd! De twee groepen kwamen bij elkaar en de rest is geschiedenis. Het artikel van Penzias en Wilson - uiteindelijk goed voor de Nobelprijs in 1978 - verwijst slechts zeer subtiel naar de kosmologische verklaring. De nederige titel *A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s* wordt als wetenschappelijk understatement slechts overtroffen door de beroemde laatste zin in het artikel van Crick en Watson waarin ze de structuur van het DNA molecuul wereldkundig maken: *'It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material.'*

De volgende fase in deze kosmische thriller is de Cosmic Background Explorer (COBE) satelliet, die begin jaren negentig nauwkeurig naar de afwijkingen in de achtergrondstraling ging zoeken en deze ook vond. De minuscule variaties in temperatuur aan de hemel zijn verantwoordelijk geweest voor de vorming van alle structuur in het heelal - sterrenstelsels, sterren, planeten, en uiteindelijk ook het leven op aarde. Als deze kleine imperfecties niet aanwezig waren geweest, zou het heelal een uniforme, oninteressante brei zijn geworden. In de gangbare theorieën zijn de weeffoutjes in het heel vroege heelal ontstaan uit de intrinsieke variaties die in de kwantumtheorie liggen besloten, het gevolg van het onzekerheidsprincipe van Heisenberg. Door de enorme uitdijning van het heelal werden de kwantumfluctuaties, die normaal gesproken alleen een rol spelen in de wereld van de elementaire deeltjes, uitvergroot tot werkelijk kosmische proporties. Het zijn de precisieingeningen van de variaties in de achtergrondstraling die uiteindelijk de grootte, leeftijd en samenstelling van het heelal bepalen. Ook al waren de COBE resultaten indrukwekkend, ze worden nu ruimschoots overtroffen door de

spectaculaire beelden van WMAP, die de achtergrondstraling in veel meer detail in kaart brengt.

Waar kan men over dit alles lezen? Er is geen tekort aan populair-wetenschappelijke literatuur over kosmologie, variërend van glimmende foto boeken tot meer technische werken, maar het is moeilijk een boek te vinden dat in alle opzichten bevredigend en up-to-date is, zeker gezien de huidige snelle ontwikkelingen. Ik beperk me hier tot twee aansprekende recente publicaties, die ieder op geheel eigen wijze een aspect van het grote verhaal uitlichten.

Janna Levin is een jonge Amerikaanse kosmologe die tot haar eigen verbazing een bestseller heeft geschreven door het zeer persoonlijke verhaal van haar leven als postdoc in Cambridge te verweven met de grote vragen van haar vakgebied. De titel van haar boek *How the universe got its spots* is misschien wel de mooiste vondst, een referentie aan het bekende verhaal *How the leopard got his spots* van Rudyard Kipling, een van zijn *Just so stories*. In deze kleurrijke kinderverhalen, gebaseerd op Afrikaanse en Indiase vertellingen, legt hij ook uit hoe de kameel aan een bult en de olifant aan een slurf kwam. De vlekken van de luipaard zijn een mooie metafoor voor de variaties in de achtergrondstraling, zoals die door COBE, en nu WMAP, zo precies gemeten zijn.

Naast een aansprekende inleiding in de moderne kosmologie geeft Levin een charmant doorkijkje in het typische leven van een jonge onderzoeker die in haar *Wanderjahre* wetenschappelijke ambitie en enthousiasme moet combineren met allerlei praktische zaken, van het vinden van een appartement tot het instandhouden van een moeizame relatie. Dit persoonlijk relaas is verfrissend en geeft het boek een enorm tempo. De lezer kan niet wachten tot het moment dat Levin eindelijk haar parasiterende partner dumpst. Ondertussen neemt ze de tijd om de meer abstracte, wiskundige eigenschappen van de kosmologie, in het bijzonder de kromming van ruimte en tijd, helder uit te leggen. Haar eigen onderzoeksterrein behelst de topologie van de ruimte, zeg maar de vorm van het heelal. Moeten we deze voorstellen als een oneindig vlak, of kromt het heelal in zichzelf terug als een reusachtige bol of fietsband zodat we, als we maar ver genoeg kijken, ons eigen achterhoofd kunnen zien? Het zijn fascinerende vragen, die zelfs met de nieuwste WMAP data nog niet overtuigend beantwoord kunnen worden, hoewel er op dit moment druk over gespeculeerd wordt in de literatuur.

*‘De vingerafdruk van de schepping werd aanvankelijk verward met duivenpoep.’*

Levin is in alle opzichten het tegenovergestelde van een andere succesvolle auteur uit Cambridge, Sir Martin Rees, die als geen ander het wetenschappelijk establishment vertegenwoordigt. Hij heeft de perfecte antecedenten om een breed overzicht van dit gebied te geven: een uiterst briljante astrofysicus die al op zeer jonge leeftijd wetenschappelijke faam verwierf met zijn onderzoek naar zwarte gaten, de achtergrondstraling, gammaflitsen en de vorming van melkwegstelsels. Rees is nu *Royal Society Research Professor* in Cambridge en bekleeder van het unieke Engelse ambt van *Astronomer Royal*, de koninklijke sterrenkijker, een positie die in 1675 door Charles II werd gecreëerd. Hij is daarmee een ideale ambassadeur voor de astrofysica en de kosmologie. Sinds kort is hij een opvallend productieve schrijver van populair-wetenschappelijke teksten, waarin hij ook de meer speculatieve kanten van zijn ideeën laat doorschemeren.

Zijn nieuwste boek *Our cosmic habitat*, hier in vertaling verschenen onder de wat kromme titel *De kosmos, onze wereld*, is een uitgewerkte versie van de Scribner Lectures die Rees in Princeton University heeft uitgesproken. Dit boek overlapt aanzienlijk met zijn ook sterk aan te raden *Just six numbers: the deep forces that shape the universe*. Rees voert ons mee langs de vele ingrediënten van het kosmologische standaardmodel, in het bijzonder de structuurvorming in het vroege heelal. Het geeft de lezer een breed maar compact overzicht.

Aan het einde van zijn boek gooit Rees alle remmen los en gaat hij verder in op zijn eigen ideeën over ‘het waarom’. Waarom is het heelal zoals het is? Waarom heeft het de karakteristieke leeftijd, grootte en vorm, die nu met indrukwekkende precisie door WMAP gemeten zijn? Dit is de laatste en misschien ook de allergrootste vraag. Was er een keuze in de natuurwetten, het scala aan elementaire deeltjes en de beginconditie die uiteindelijk de geschiedenis van het heelal hebben mogelijk gemaakt, van de oerknal tot de ontwikkeling van het leven op aarde? Zijn grootheden als het aantal ruimtedimensies, de lading en massa van het elektron en de snelheid van het licht, die wij als natuurconstanten in een tabellenboek opzoeken, ooit door een scheppende kracht uit een catalogus uitgekozen?

Rees blijkt in deze discussie over Het Grote Waarom gecharmeerd van het antropische principe, het beginsel waarin het bestaan van intelligent leven op aarde centraal staat in het begrip van de natuur. Volgens het antropische principe bepaalt het simpele feit dat de mens er is en zich de waarom-vraag stelt met terugwerkende kracht de kosmische parameters. Een kleine verandering in één van deze getallen, zoals een elektron dat iets lichter uitvalt of een zwaartekracht die iets sterker aantrekt, kan zulke grote gevolgen hebben voor de geschiedenis van het heelal dat het niet langer bevolkt kan worden door organismen met zelfreflectie. Het heelal moet vooral zo fijn worden afgesteld dat het in staat is voldoende complexiteit te ontwikkelen, om uiteindelijk te leiden tot het ontstaan van het leven, en in het bijzonder van kosmologieboeken en deze bespreking!

Vele fysici zien een beroep op het antropische principe als een wetenschappelijke capitulatie. Ze voelen zich daarin gesterkt door het fenomenale succes van de reductionistische kijk op de wereld. Logisch

gezien kunnen dit soort argumenten ook hoogstens een noodzakelijke voorwaarde geven en nooit een ultieme verklaring vormen. Maar de problematiek wordt wel aangescherpt door recente pogingen de nog onbekende fysica van de oerknal te beschrijven, zoals binnen de snaartheorie (zie *De zegetocht van de snaartheorie*, ABG 33, juni 2002). De snaartheorie ligt uniek vast als theorie maar haar voorspellende waarde wordt ondergraven door het waarschijnlijk zeer grote aantal verschillende grondtoestanden - fysica-slang voor de mogelijke verschijningsvormen van het universum. De vraag blijft dan in welke van deze vele mogelijke werelden wij leven, iets wat de theorie niet vastlegt.

Een analoge situatie kan gevonden worden in het denken over het zonnestelsel. Zo worstelde in het begin van de zeventiende eeuw Johannes Kepler met de vraag welk principe de specifieke afstanden van de zes toen bekende planeten tot de zon vastlegt. En vooral, waarom staat de aarde 150 miljoen kilometer ver van de zon? In zijn eerste poging deze vraag wetenschappelijk te beantwoorden, gebruikte hij geraffineerde wiskunde. Hij ging uit van de vijf platonische lichamen, de unieke regelmatige veelvlakken die de oude Grieken en later vele kunstenaars zo fascineerden. In Keplers tijd was dit state of the art wiskundige technologie. Door deze vijf figuren ingenieus in elkaar te passen, construeerde Kepler een planetair model dat redelijk de gemeten waarden van de zes planeetbanen kon reproduceren. Nu lijkt deze poging vergezocht en een duidelijk voorbeeld van een doorgeschoten theoretisch idee, een te grote drang tot wiskundige perfectie, los van het feit dat uiteindelijk nog drie nieuwe planeten gevonden zouden worden.

*'Het alles omringende bad van straling waarin het gehele heelal is ondergedompeld, is het allergrootste en alleroudste ons bekende fossiel.'*

Kort daarna vond Kepler echter wel een belangrijk gegeven, namelijk dat alle planeetbanen ellipsen zijn. Dit feit zou later door Newton wiskundig begrepen worden en is universeel: iedere maan, planeet of asteroïde die aangetrokken door de zwaartekracht zijn rondjes draait, of het nu rond de aarde, de zon of een verre ster is, zal (in eerste benadering) een ellips beschrijven. Maar dit verklaart nog steeds niet de afstand van de aarde tot de zon. Wat kunnen we Kepler vertellen als hij nu via een tijdmachine voor ons zou verschijnen en ons zijn grote waarom-vraag stelt?

Ons beste antwoord zou zijn dat 150 miljoen kilometer niets bijzonders is, dat er geen principiële verklaring voor is. Het heelal bevat ontelbare zonnen, waarvan de meeste planeten zullen hebben met een scala aan afmetingen en afstanden. We zouden hem zelfs wat computersimulaties kunnen laten zien en elke keer dat ons zonnestelsel digitaal herboren wordt, zal er een nieuwe configuratie van planeten ontstaan, een paar grote en een paar kleine, met soms eentje die lijkt op de aarde.

De enige rechtvaardiging voor de 150 miljoen kilometer is niet wiskundig maar antropisch. Als de baan van de planeet aarde bijvoorbeeld 4 miljard kilometer groot zou zijn, dan zouden we ons op de plaats van Neptunus bevinden. Onze wereld zou dan bestaan uit bevroren gaswolken met een temperatuur van 225 graden onder nul. In deze ijzelijke omstandigheden zou er geen enkele kans zijn voor een levend organisme, laat staan een Kepler, die de oorspronkelijke vraag had kunnen stellen. Ons antwoord is daarmee de ultieme *just so story*.

Rees voert dit argument elegant verder en schetst een scenario waarin in een spervuur van oerknallen verschillende parallele versies van onze kosmos zijn ontstaan, gekozen uit een multiversum - een catalogus van mogelijke universa, van allerlei soorten en maten. Dit roept een beeld op van de natuur als een reusachtig roulettewiel, waarbij ieder vakje staat voor een ander mogelijk heelal, met bijvoorbeeld een verschillend aantal dimensies of een andere lading voor het elektron. Bij iedere oerknal valt het balletje en komt het in een van de vakjes tot rust. In een van deze mogelijke werelden, een die nu 13,7 miljard jaar oud is, leven wij.

**Robbert Dijkgraaf** is hoogleraar mathematische fysica aan de Universiteit van Amsterdam.

### **Besproken boeken:**

*Our cosmic habitat*

door **Martin Rees**.

Princeton University Press.

Princeton, New Jersey 2001. 224 pag. \$ 35,00

Vertaald als *De kosmos, onze wereld*.

Uitgeverij Het Spectrum. Utrecht 2002.

236 pag. € 17,75

*How the universe got its spots: diary of a finite time in a finite space*

door **Janna Levin**.

Princeton University Press.

Princeton, New Jersey 2002. 224 pag. \$ 22,95

Vertaald als *Hoe het heelal zijn vlekken kreeg*.

Uitgeverij Contact. Amsterdam 2002.

224 pag. € 22,50