

# Radioruis en de kosmos

## *De ontdekking van de Big Bang*

Toen in 1932 min of meer bij toeval buitenaardse signalen werden opgepikt door een eenvoudige antenne, zette dat een ontwikkeling in gang die leidde tot een nieuwe wetenschap: de radioastronomie. Van daaruit kwam men tot vele waardevolle ontdekkingen en inzichten die de kosmologie mede hebben gebracht tot waar ze nu is. **door Piet van der Kruit**

**D**

studie van de structuur, het ontstaan en de evolutie van het heelal, de kosmologie, is recent uitgemond in het zogenaamde 'concordantiemodel', dat het heelal beschrijft als ontstaan in een 'Big Bang', ongeveer 13,7 miljard jaar geleden. Volgens dat model bestaat het heelal voor ongeveer 5% uit gewone materie (zoals die waar u en ik uit bestaan), voor zo'n 25% uit donkere materie, die samen met de gewone materie de uitdijing van het heelal afremt en voor zo'n 70% uit donkere energie, die zijn expansie juist versnelt. Mijn collega Ed van den Heuvel heeft dit beschreven in 'Einsteins blunder' in *ABG* 82. Met 'concordantie' wordt bedoeld dat dit model het resultaat is van eliminatie van een groot aantal alternatieve modellen, die volgens de algemene relativiteitstheorie van Einstein wel mogelijk zijn, maar door diverse lijnen van onderzoek werden uitgesloten, zodat er een concordantiemodel overbleef dat consistent is met al onze kennis.

De radiosterrenkunde heeft in dit proces een belangrijke rol gespeeld, want daaruit is de ontdekking van de kosmologische achtergrondstraling (*Cosmic Microwave Background of CMB*) voortgekomen, een overblijfsel van de hete fase van het jonge heelal kort na de Big Bang, en van de daarin aanwezige vingerafdrukken van de eerste structuur in het heelal. De details van die structuur zijn, samen met de ontdekking van de versnelling van de expansie met behulp van supernovae, van bepalend belang geweest bij de totstandkoming van het concordantiemodel.

Reeds enkele decennia geleden werd algemeen geaccepteerd dat het heelal is

**COSMIC NOISE. A HISTORY OF EARLY RADIO ASTRONOMY**  
door Woodruff T. Sullivan.  
Cambridge University Press.  
Cambridge 2009.  
III, xxi + 542 pag. € 122,50

**DE SITTER: EEN ALTERNATIEF VOOR EINSTEINS HEELAL-MODEL**  
door Jan Guichelaar.  
Uitgeverij Veen Magazines.  
Diemen 2009. 159 pag. € 34,50

**FINDING THE BIG BANG**  
door P.J.E. Peebles, L.A. Page jr. en R.B. Partridge (eds.).  
Cambridge University Press.  
Cambridge 2009.  
xvi + 571 pag. € 60,95

ontstaan in de Big Bang, dat na afloop van die hete fase de materie (bijna) uitsluitend in de vorm van waterstof en helium bestond en dat de overige chemische elementen in sterren zijn ontstaan. In dit artikel bespreek ik de geschiedenis van deze fundamentele inzichten aan de hand van drie boeken, die gaan over de vroege geschiedenis van de radiosterrenkunde, het inzicht dat de relativiteitstheorie expansie toeliet, het besef dat er een Big Bang geweest moet zijn en de ontdekking van het kosmologische stralingsveld en de aanwezigheid van structuur daarin.

De Amerikaanse radioastronoom Woodruff ('Woody') Sullivan schreef over de geschiedenis van de radiosterrenkunde het boek *Cosmic Noise*. Hij heeft over dit project 37 jaar gedaan, alhoewel hij tus-

deed dit om de oorsprong van voor radio-communicatie storende signalen op te sporen. Hij merkte op dat de signalen een buitenaardse oorsprong hadden; alleen kwamen ze niet dagelijks terug met een

---

**'Het begon allemaal pas echt tijdens de Tweede Wereldoorlog, voornamelijk als gevolg van de ontwikkeling en toepassing van radar.'**

sendoor wel enkele deelstudies publiceerde. Van 1971 tot 1973 was hij postdoc in Groningen en rond die tijd is hij begonnen interviews op te nemen met mensen die de eerste ontwikkelingen hebben meegemaakt; zoals later bleek (zoals hij zelf zegt) wat naïef, want het uitwerken en de bijkomende research waren veel tijdrovender dan hij vermoedde. Hij heeft indrukken en herinneringen vastgelegd van 115 belangrijke spelers, waarvan inmiddels omstreeks 60% is overleden. Maar na bijna vier decennia ligt er dan ook een uitstekend boek; het is niet goedkoop, maar wel prachtig uitgevoerd en geïllustreerd. Het behandelt de radioastronomie van de opkomst van het vak tot ongeveer 1953.

De geboorte van de radioastronomie wordt meestal gelegd bij het werk van Karl Jansky, die voor de Bell Telephone Laboratories in New Jersey in 1932 een eenvoudige draaibare antenne construeerde om de horizon af te zoeken. Hij

24-uurs ritme, maar een van 23 uur en 56 minuten. Dit is de tijd waarin de aarde een volledige omwenteling maakt ten opzichte van de sterrenhemel: de zon kon dus niet de oorsprong zijn. De radiostraling bleek het sterkst in de richting van het centrum van ons Melkwegstelsel, maar spreidde zich uit over de gehele Melkweg.

Het onderzoek werd voortgezet door de Amerikaanse electro-ingenieur Grote Reber. In zijn vrije tijd en op eigen kosten bouwde hij een schotel met een diameter van 9,4 meter in zijn achtertuin in Wheaton, Illinois. Hij stelde zich allereerst ten doel te bevestigen dat Jansky's straling ook op hogere frequenties te meten viel. Hij maakte een kaart van de straling over de hemel en publiceerde zijn resultaten in twee artikelen (in 1940 en 1944) in een astronomisch vaktijdschrift. Ook registreerde hij later radiostraling van de zon.

Maar het begon allemaal pas echt tijdens de Tweede Wereldoorlog, voorna-



Karl Jansky wordt wel als grondlegger van de radioastronomie gezien.

melijk als gevolg van de ontwikkeling en toepassing van radar. De Engelsman Stanley Hey was betrokken bij de radarinstallaties aan de Britse kust, die regelmatig overstemd werden door een mysterieus signaal, misschien wel van de Duitsers. De bron bleek echter de zon te

van radiostraling gevonden in het sterrenbeeld Zwaan, Cygnus A.

Na de oorlog werd de radioastronomie ook opgepakt door andere groepen, met name in Engeland (Cambridge en Manchester) en Australië. Zeer gedetailleerd, maar zeer boeiend en uitstekend gedo-

cumenteed en geïllustreerd, laat Sullivan van ons zien hoe dit leidde tot studies van de zon, van meteoorsporen (via radar), van de straling van de Melkweg en van nabije Melkwegstelsels als de Andromedanevel, en in toenemende mate tot de bestudering van 'radiosterren'. Deze laatste zijn dermate geïsoleerd dat het specifieke objecten moesten zijn, maar ze bleken niet eenvoudig met bekende astronomische objecten te associëren.

De lijn naar Nederland (door Sullivan overigens helaas bijna altijd met 'Hol-

land' vertaald in plaats van 'the Netherlands') liep via astronomen en niet via radio-ingenieurs. Jan Hendrik Oort had in de oorlog de publicaties van Reber gelezen en vroeg zijn medewerker Hendrik C. van de Hulst op zoek te gaan naar een spectraallijn in het radiogebied om de verdeling en bewegingen van interstellair gas in het Melkwegstelsel te bestuderen. Van de Hulst voorspelde dat een spectraallijn van neutrale waterstof bij een golflengte van ongeveer 21 centimeter waarneembaar zou moeten zijn. Na de oorlog schreef Oort aan Reber om te vragen wat de kosten zouden zijn van een radiotelescoop als de zijne, maar uiteindelijk werd met een omgebouwde

grotere afstand, dus de verandering van het aantal bronnen met schijnbare helderheid aan de hemel geeft informatie over de structuur van de ruimte en over het vóórkomen en de eigenschappen van radiobronnen op grotere afstand in het heelal en terug in de tijd. Uiteindelijk bleken deze tellingen van radiobronnen en – na de ontdekking ervan – ook van quasars voornamelijk informatie te geven over hun kosmologische evolutie (hun aantal en helderheid als functie van de tijd). Wel werd duidelijk dat het heelal veranderde in de loop van de tijd en niet – zoals de 'steady state-theorie' poneerde – onveranderlijk is.

---

**'Einstein had uit zijn veldvergelijkingen afgeleid dat het heelal niet statisch kon zijn en had daarom zijn "lambda-term" ("Einsteins blunder") ingevoerd om het heelal toch als statisch te kunnen blijven beschrijven.'**

Würzburgschotel van de Duitse radarinstallaties in Kootwijk de 21-centimeter-lijn van neutrale waterstof waargenomen – helaas net iets later dan in de VS. (Voor wie meer wil weten: het ontstaan van de Nederlandse radioastronomie is uitstekend beschreven door Van Woerden en Strom [2006].)

Woody Sullivan sluit zijn zeer leesbare en boeiende boek af met een discussie over de sociologische aspecten van de opkomst van de radiosterrenkunde. De beoefenaars waren oorspronkelijk geen astronomen, maar zochten wel aansluiting met hen en werden op den duur 'radioastronomen', daarbij de 'astronomen' forcerend de nieuwe aanduiding 'optische astronoom' te accepteren. Dat staat overigens model voor de opening naar andere golflengtegebieden (infrarood, röntgen, et cetera) in de astronomie. Dit gebeurde geleidelijk en zonder veel weerstand, zodat je het eerder het ontstaan van een 'nieuwe astronomie' dan een revolutie kunt noemen. Sullivan classificeert deze ontwikkeling als de vierde majeure transformatie van de sterrenkunde, na de uitvinding van de telescoop (zeventiende eeuw), Herschels gebruik van grote spiegeltelescopen (achttiende eeuw) en de opkomst van fotografie en spectroscopie (negentiende eeuw). Opmerkelijk is dat de radioastronomie zich in de VS later ontwikkelde dan elders; volgens Sullivan komt dat mede door de sterke positie daar van de optische sterrenkunde.

De radiobron Cygnus A werd in 1951 geïdentificeerd met de grote telescoop van 200 inch op Palomar Mountain, nadat radioastronomen een voldoende nauwkeurige positie hadden gemeten. Het bleek een zeer ver weg gelegen object te zijn. Dat bood belangrijke nieuwe perspectieven. Want als radiosterren op zulke grote afstanden staan, dan zouden 'brontellingen', de toename van het aantal radiobronnen als je zwakker en zwakker waarneemt, informatie kunnen bevatten over de structuur van het heelal. Zwakkere bronnen liggen statistisch op

De Nederlandse astronoom Willem de Sitter heeft een belangrijke rol gespeeld in de ontwikkeling van de kosmologie. Zijn biografie *De Sitter: Een alternatief voor Einsteins heelalmodel* van Jan Guichelaar is door Ed van den Heuvel terloops genoemd in de *ABG*. Het boek werd ook mooi besproken door de onlangs overleden nestor van de Nederlandse sterrenkunde Adriaan Blaauw (2010).

Guichelaars biografie van De Sitter is zeer de moeite waard; het boek is gedegen, uitstekend geschreven en fraai geïllustreerd. Het is in het Nederlands geschreven, maar het zou beslist de moeite waard zijn om een Engelse versie te publiceren. De schrijver heeft natuurkunde gestudeerd en geeft een duidelijke uitleg van de fysische achtergronden. In de ondertitel verwijst hij naar De Sitters kosmologische werk, alhoewel diens fundamentele bijdrage aan het begrip van de banen van het stelsel van satellieten van Jupiter door De Sitter zelf waarschijnlijk als zijn meest belangrijke werk werd beschouwd. In de kosmologie heeft de Sitter een fundamentele rol gespeeld in de toepassing van Einsteins relativiteitstheorie. Hij was

---

**'Daarmee werd duidelijk dat het heelal veranderde in de loop van de tijd en niet – zoals de "steady state-theorie" poneerde – onveranderlijk is.'**

zijn. Dat bleef natuurlijk geheim, maar vergelijkbaar onderzoek werd (zo bleek later) ook elders gedaan. Hey was na de oorlog in staat om zijn door het leger gefinancierde onderzoeksgroep, die zich met radioastronomie bezighield en weinig in militair opzicht zinvolle activiteiten ontplooidde, bij elkaar te houden tot 1948, maar toen was het vanwege de Koude Oorlog toch afgelopen. Wel had hij inmiddels de straling van het Melkwegstelsel van Jansky en Reber onderzocht en de eerste discrete, geïsoleerde bron

---

**'Was het heelal misschien periodiek, zodat het op cyclische wijze telkens expandeert en dan weer inkrimpt?'**

daarbij in een uitstekende positie, omdat hij (net als zijn leermeester Kapteyn) nogal Angelsaksisch georiënteerd was, hetgeen begin twintigste eeuw ongebruikelijk was. Daardoor kon hij het in het Duits gepubliceerde werk van Einstein begrijpelijk maken voor de Engels sprekende wereld, en (ook tijdens de Eerste Wereldoorlog) als een *trait d'union*



optreden met de astronomen in Engeland en de VS.

Einstein had uit zijn veldvergelijkingen afgeleid dat het heelal niet statisch kon zijn en had daarom zijn 'lambda-term' (Einsteins blunder) ingevoerd om het heelal toch als statisch te kunnen beschrijven. De Sitter vond in 1917

als het 'Einstein-De Sitter-heelal'. Zijn werk in de kosmologie is uiteindelijk de meest blijvende en zichtbare bijdrage geweest van De Sitter.

Inmiddels was er wel een discussie ontstaan over de aard van het begin van de expansie van het heelal vanuit een mathe-

## 'Maar als het jonge heelal heet was, dan moet er nu nog straling van die hete fase overgebleven zijn.'

een oplossing van die veldvergelijkingen zonder lambda, als je een niet-statisch (maar leeg) heelal toeliet. Later, toen de expansie van het heelal ontdekt was, bleek het op grond van het werk van de Belgische astronoom en priester George Lemaître zinvol te denken dat het heelal niet-statisch is. Einstein en De Sitter combineerden hun oplossingen en beschreven hun opvattingen in een artikel van twee volle pagina's (Guichelaar zegt ten onrechte één), *On the Relation between the Expansion and the Mean Density of the Universe*. De kosmologische lambda-term werd onnodig verklaard en de oplossing die zij presenteerden is bekend geworden

matisch punt. Was het heelal misschien periodiek, zodat het op cyclische wijze telkens expandeert en dan weer inkrimpt? De vraag was verder hoe het heelal eruit zou hebben gezien bij het begin van de expansie. In de jaren veertig van de vorige eeuw werd dit in verband gebracht met het ontstaan van de chemische elementen. George Gamow stelde voor dat in een vroege, hete fase van het heelal kernreacties verantwoordelijk waren voor de vorming van zwaardere atoomkernen. Zijn student Ralph Alpher werkte dit idee verder uit; dat mondde in 1948 uit in een beroemd artikel door Alpher, Bethe en Gamow (Hans Bethe was toegevoegd om de initialen van de achternamen van de auteurs te laten corresponderen met het begin van het Griekse alfabet). Later is gebleken dat dit niet klopte en dat alleen helium op die manier gevormd kon zijn; het werd duidelijk dat de overige elementen in sterren worden geproduceerd. Van helium is er te veel om ook in sterren te kunnen zijn gevormd; daarom is voor het ontstaan daarvan de aanname van een hete, vroege fase in het heelal wel noodzakelijk.

Maar als het jonge heelal heet was, dan moet er nu nog straling van die hete fase overgebleven zijn. Dat is het onderwerp van het derde hier besproken boek, *Finding the Big Bang* van Jim Peebles, Lyman Page and Bruce Partridge. Het bestaat uit een uitstekende beschrijving van het onderzoek tot in de jaren zestig en besluit met een samenvatting van de voortgang sindsdien. Bij elkaar beslaat dit ongeveer een derde van het boek; het middelste deel is een verzameling zeer belangwekkende persoonlijke herinneringen van de belangrijkste spelers bij de ontdekking en vroege studie van de CMB.

Als het heelal is begonnen met een heel compacte en daardoor heel hete fase, dan moet het bij die hoge temperatuur behorende stralingsveld nog steeds bestaan, zij het dat het door de expansie van het heelal moet zijn afgekoeld. Gamows medewerkers Alpher en Robert Herman kwamen tot de conclusie dat zo'n stralingsveld een huidige temperatuur zou moeten hebben in de orde van 5 kelvin (5 graden boven het absolute nulpunt). Deze voorspelde waarde, gepubliceerd in 1949, is later geheel in de vergetelheid geraakt.

Als jong kernfysicus kwam Robert Dicke in 1941 te werken bij het Massachusetts Institute of Technology, waar onderzoek werd gedaan naar radio- (en radar-) technieken bij hogere frequenties. Hij trachtte de helderheid van de atmosfeer te meten en introduceerde daarvoor

### Artikelen en reacties zeer welkom op redactiedres.

REDACTIESECRETARIAAT:  
Amsterdam University Press | Herengracht 221,  
1016 BG, Amsterdam | e-mail: [abg@aup.nl](mailto:abg@aup.nl)  
Abonnementsprijs: € 35,- losse nummers € 4,75  
proefabo's (3 nrs.) € 13,50

ADVERTENTIES: Amsterdam University Press  
t.a.v. afdeling Marketing, Herengracht 221  
1016 BG Amsterdam | T. 020-4200050  
[marketing@aup.nl](mailto:marketing@aup.nl)

ONTWERP: Corina Cotorobai & Wigger Bierma |  
Werkplaats Typografie, Arnhem  
OPMAAK: Studio TypeFace, Lelystad  
DRUK: Dijkman Offset, Diemen  
UITGAVE EN COPYRIGHT: AUP, ISSN 1567-7842  
OPPLAGE: 64.578 exemplaren



### COLOFON

REDACTIEAARD: Marjolijn van Asselt, Inez de  
Beaufort, Trudy Dehuel, Robbert Dijkgraaf,  
Marjolijn Februaari, schrijver, essayist, Maria Greven,  
Albert Heck, Jaap Hoogenboezem, Liesbeth  
Kester, Theo Mulder, Gerard Nienhuis,  
Sjibolt Noord, Willem Otterspeer,  
Herman Philipse, Ieme van der Poel, Rutger van  
Santen, Esther-Mirjam Sent, Carel Stolker,  
Paul Struik, Tomas Vanheste, Peter-Paul  
Verbeek, Willem Witteveen

HOOFDREDACTEUR: Inge van der Bijl  
EINDREDACTEUR: Warty Poelstra  
REDACTEUR: Geertje Dekkers  
ADVERTENTIES: Richard Ludeke  
UITGEVER: Amsterdam University Press

De *Academische Boekengids* wordt zes keer per jaar gratis verspreid onder het wetenschappelijk personeel van vrijwel alle Nederlandse universiteiten, de Universiteit Medische Centra en de KNAW. Daarnaast wordt zij gedistribueerd aan lezers van *Vrij Nederland*.

Voor de verspreiding zijn deze instellingen zelf verantwoordelijk. Voor klachten over de bezorging wordt de lezers verzocht contact op te nemen met de afdelingen adresbeheer van de eigen instelling, en niet met AUP.

LETTERTYPE: Arnhem en Ludwig door Fred Smeijers, OurType.

[www.academischeboekengids.nl](http://www.academischeboekengids.nl) is een gratis website die alle artikelen en rubrieken bevat die vanaf 2000 in *De Academische Boekengids* zijn verschenen.

een techniek waarbij een ontvanger snel heen en weer schakelde tussen het signaal van de hemel en dat van een bron in de ontvanger zelf. Dankzij een 'hoorn'-constructie (in plaats van een schotel) was de invloed van straling van de grond en dergelijke minimaal. Als je dan de straling van de atmosfeer meet op verschillende hoogten boven de horizon, kun je ook afleiden wat die zou zijn als er geen atmosfeer was. Dat leverde een bovenlimiet van 20 kelvin op. Volgens diverse auteurs in het boek schijnt Dicke dit resultaat later zelf vergeten te zijn. Ook schijnt het werk van Gamow, Alpher en Herman een paar jaar daarna aan hem voorbij te zijn gegaan.

een stralingsveld moest zijn in ons Melkwegstelsel met een temperatuur van 2,3 kelvin. Dit werk van Andrew McKellar werd door veel onderzoekers niet serieus genomen; zij vermoedden problemen met de waarnemingen of de interpretatie. Pas na de directe waarneming van de CMB werden McKellars resultaten als correct geaccepteerd.

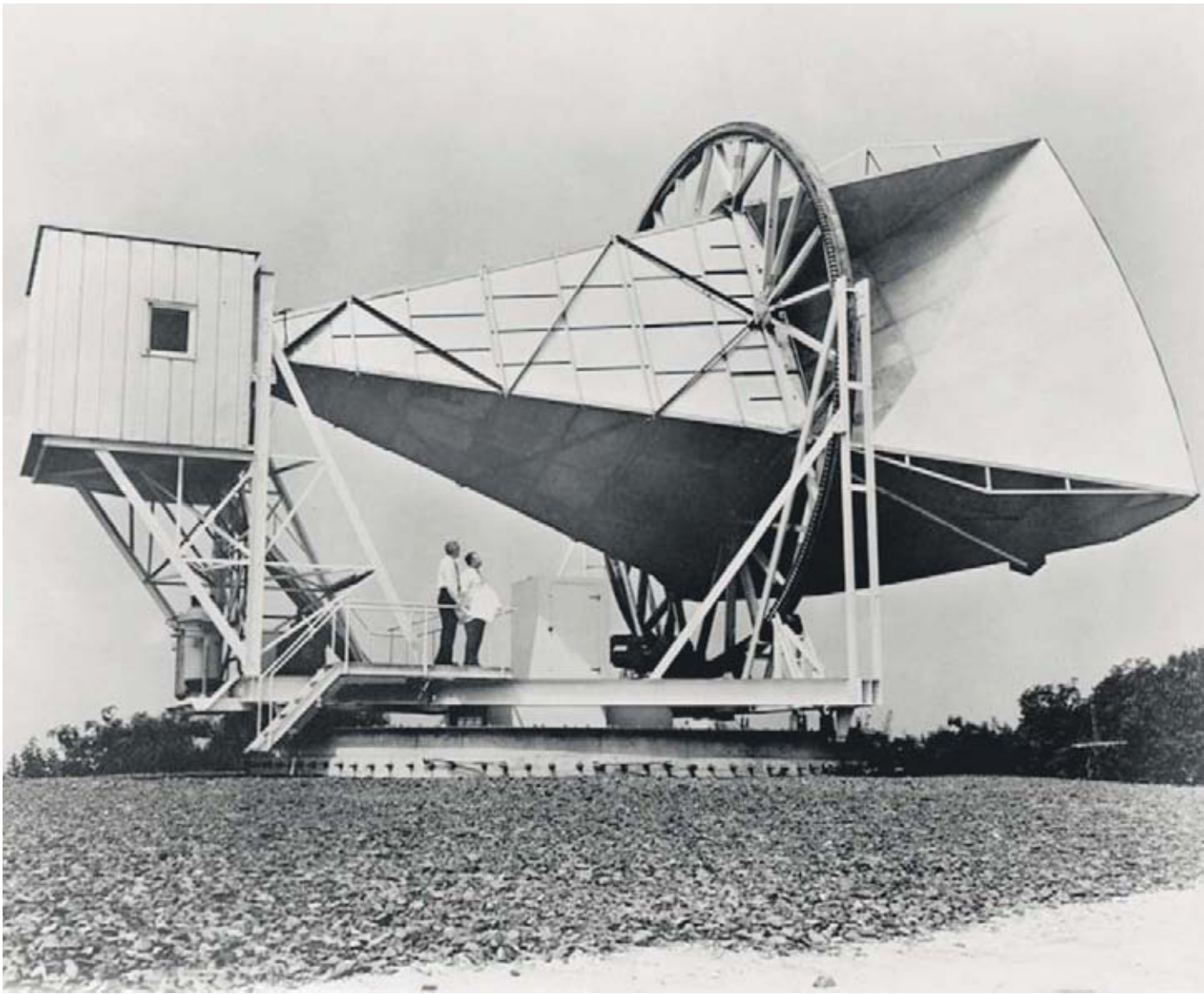
Begin jaren zestig had Dicke een groep om zich heen verzameld in Princeton, die zich toelegde op de studie van diverse onderwerpen in de fundamentele natuurkunde, waaronder gravitatie en kosmologie. Hij was nog steeds geïnteresseerd in de hypothese van een hete Big Bang en de mogelijkheid het nu resterende stra-

---

**'Inderdaad is het waar dat de bijdrage van Alpher en Herman vaak onderbelicht is gebleven, maar er zijn geen duidelijke aanwijzingen dat dit het gevolg van stelselmatige geschiedvervalsing is geweest.'**

Omstreeks dezelfde tijd ontstond er een probleem met de interpretatie van absorptielijnen in spectra van sterren door tussenliggend, interstellair cyaan (CN). De waarnemingen gaven aan dat er

lingveld te detecteren. Hij vroeg zijn medewerkers Peter Roll en David Wilkinson om een ontvanger te bouwen volgens zijn ('Dicke switch') methode om naar zulke straling te zoeken – hij was



De 'hoorn'-constructie die Penzias en Wilson gebruikten om de kosmologische achtergrondstraling te detecteren.

kennelijk inderdaad vergeten dat hij al eerder een limiet voor de temperatuur ervan had bepaald. Aan Jim Peebles vroeg hij uit te zoeken wat de theoretische consequenties zouden zijn als zulke straling bestond. Deze vond dat de temperatuur dan in het vroege heelal zeer hoog moest zijn geweest en de temperatuur nu maximaal 15 kelvin zou kunnen zijn. Dus in principe detecteerbaar. Vergelijkbaar werk in Rusland had overigens tot eenzelfde conclusie geleid.

Penzias en Wilson voor hun werk de Nobelprijs. Iedereen in Dickes omgeving was teleurgesteld dat hij niet met Penzias en Wilson in de Nobelprijs heeft gedeeld. Ik kan daar inkomen.

De rol van Jim Peebles wordt in het boek *The Very First Light* van John Boslough en John Mather (2008) enigszins in een kwaad daglicht gezet, zoals Ed van den Heuvel in zijn stuk al noemde. Hij zou stelselmatig de voorspelling van de CMB voor zichzelf opeisen en het werk

De hier besproken boeken zijn alle drie bedoeld voor een algemener publiek dan de vakgenoten, en alle drie slagen ze naar mijn mening uitstekend in die opzet, alhoewel gezegd moet worden dat in de boeken van Sullivan en van Peebles *et al.* technische details niet geschuwd worden. Deze twee boeken hebben een opmerkelijk kenmerk gemeen, namelijk dat de literatuurlijst ook de paginanummers bevat waar elke geciteerde publicatie is aangehaald. Dit maakt ze uitermate gebruiksvriendelijk.

Prof. dr. P.C. (Piet) van der Kruit is *Jacobus C. Kapteyn* hoogleraar in de sterrenkunde aan de Rijksuniversiteit Groningen.

## ‘Iedereen in Dickes omgeving was teleurgesteld dat hij niet met Penzias en Wilson in de Nobelprijs heeft gedeeld.’

Intussen waren Arno Penzias en Robert (Bob) Wilson op Bell Labs bezig een uiterst gevoelige antenne te bouwen voor radioastronomisch onderzoek op hoge frequenties. Zij waren radioastronomen en geen ingenieurs van origine en zeer bekwaam in het bouwen van apparatuur daarvoor. In 1964 ontdekten zij een onverklaarde stralingscomponent met een temperatuur van ongeveer 3 kelvin, die in alle richtingen aan de hemel precies even sterk was. Al snel kwamen zij in contact met Dicke en zijn groep; dat resulteerde in een tweetal artikelen: een waarin Dicke en zijn medewerkers hun voorspelling bespraken en de voortgang van de bouw van een instrument om de straling te ontdekken, en een van Penzias en Wilson over hun ontdekking ervan, zonder veel nadere interpretatie. Uiteindelijk kregen

van met name Gamow, Alpher en Herman hebben genegeerd. In zijn bijdrage in *Finding the Big Bang* gaat Peebles op deze situatie in, en geeft hij toe onvoldoende literatuuronderzoek te hebben gedaan, maar dat wel te hebben gecorrigeerd in latere publicaties en uitlatingen. En als leider van de groep zou Dicke (eerste auteur van het belangrijke artikel ‘Cosmic Black-Body Radiation’ uit 1965) hiervoor mede de verantwoordelijkheid moeten dragen. Volgens Peebles deed hij dat ook; niettemin acht hij zichzelf in eerste instantie verantwoordelijk. Inderdaad is het waar dat de bijdrage van Alpher en Herman vaak onderbelicht is gebleven, maar er zijn geen duidelijke aanwijzingen dat dit het gevolg van stelselmatige geschiedvervalsing is geweest.

### Overige literatuur

- A. Alpher, H. Bethe en G. Gamow. ‘The Origin of Chemical Elements’, *Physical Review*, vol. 73 (1948): 803-804, [adsabs.harvard.edu/abs/1948PhRv...73..803A](https://adsabs.harvard.edu/abs/1948PhRv...73..803A)
- A. Blaauw. ‘Huisvader van de sterrenkunde’, *NRC Handelsblad*, 13 februari 2010.
- J. Boslough en J. Mather. *The Very First Light: The True Inside Story of the Scientific Journey back to the Dawn of the Universe*. Basic Books. New York 2008.
- R.H. Dicke, P.J.E. Peebles, P.G. en D.T. Wilkinson. ‘Cosmic Black-Body Radiation’, *Astrophysical Journal*, vol. 142 (1965): 414-419, [adsabs.harvard.edu/abs/1965ApJ...142..414D](https://adsabs.harvard.edu/abs/1965ApJ...142..414D)

- A. Einstein en W. de Sitter. ‘On the Relation between the Expansion and the Mean Density of the Universe’, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol.18 (1932): 213-214, [adsabs.harvard.edu/abs/1932PNAS...18..213E](http://adsabs.harvard.edu/abs/1932PNAS...18..213E)
- S.W. Hawking. *A Brief History of Time*. Bantam Books. New York 1996 (1988).
- A.A. Penzias en R.W. Wilson. ‘A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s.’, *Astrophysical Journal*, vol. 142 (1965): 419-421, [adsabs.harvard.edu/abs/1965ApJ...142..419P](http://adsabs.harvard.edu/abs/1965ApJ...142..419P)
- S. Weinberg. *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. Basic Books. New York 1993 (1977).
- H. van Woerden en R.G. Strom. ‘The Beginnings of Radio Astronomy in the Netherlands’, *Journal for Astronomical History & Heritage*, 9(1), 2006: 3-20, [www.astron.nl/~leeuwen/video/dloo/JAHH9p3.pdf](http://www.astron.nl/~leeuwen/video/dloo/JAHH9p3.pdf)

*Voor verdere verwijzingen en meer details zie de uitgebreide versie van deze bespreking op [www.astro.rug.nl/~vdkruit/jea3/homepage/RAXL.pdf](http://www.astro.rug.nl/~vdkruit/jea3/homepage/RAXL.pdf)*