

Inhoud

Inleiding 9

Deel I Ontdekking

- 1 Over geleerden en ketters 21
- 2 De natuurkunde van God 41
- 3 Het scheermes 56
- 4 Hoe eenvoudig zijn rechten? 73
- 5 De inspiratie 86
- 6 De onderbreking 100

Deel II Ontsluiering

- 7 De heliocentrische, maar hermetische kosmos 121
- 8 Het openbreken van de hemelsferen 135
- 9 Eenvoud op aarde 161
- 10 Atomen en wetende geesten 175
- 11 Het idee van beweging 199
- 12 Beweging aan het werk gezet 211

Deel III De scheermessen van het leven

- 13 De levensvonk 225
- 14 De dynamische richting van het leven 247
- 15 Over erwten, teunisbloemen, fruitvliegen en blinde knaagdieren 275

Deel IV Het kosmisch scheermes

- 16 De beste van alle mogelijke werelden? 295
- 17 Een kwantum eenvoud 310
- 18 Het openbreken van het scheermes 327
- 19 De eenvoudigste van alle mogelijke werelden? 343

Epiloog 369

Dankwoord 375

Verantwoording 377

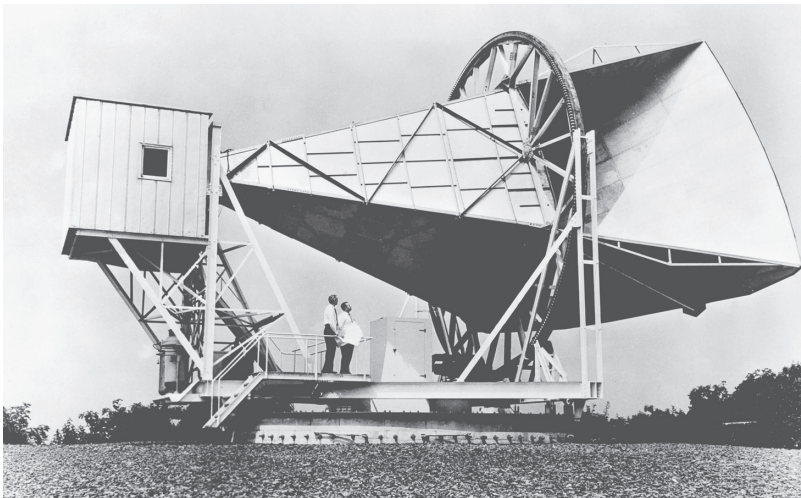
Noten 379

Register 399

Inleiding

Het is mei 1964. Twee Amerikaanse natuurkundigen staan naast een wetenschappelijk instrument ter grootte van een vrachtwagen. Het apparaat, dat eruitziet als een reusachtige gehoorhoorn, staat op een lage heuvel boven het plaatsje Holmdel in New Jersey. Beide mannen zijn midden dertig. Arno Penzias, de zoon van Joods-Duitse ouders die in 1939 van Beieren naar de Bronx waren gevlucht, is een lange man met een bril en een terugwijkende haargrens. Robert Woodrow Wilson uit Houston, Texas, is ook lang en is kaal met een donkere baard. De mannen hadden elkaar pas twee jaar eerder ontmoet tijdens een congres. Penzias, een onvermoeibare prater, en Wilson, schuchter en weifelachtig, konden het goed met elkaar vinden. Ze bundelden hun krachten bij de beroemde

9



Figuur 1: Hoornantenne bij Holmdel, New Jersey, van Bell Telephone Laboratories, met Arno Penzias en Robert Wilson.

Bell Laboratories om te werken aan een project om de sterren in kaart te brengen met behulp van microgolven. Beiden kijken naar de hemel. Ze zijn verbijsterd.

10 Microgolven, ofwel straling met golflengten die variëren van een millimeter tot een meter, waren al bijna een eeuw eerder ontdekt. Ze werden een actueel onderwerp toen wetenschappers in dienst van het leger in de Tweede Wereldoorlog probeerden deze bruikbaar te maken voor radar, en ze stralingswapens wilden ontwerpen die vijandelijke raketten konden neerhalen. Na de oorlog kregen telecommunicatiebedrijven belangstelling voor microgolven nadat de natuurkundige Robert H. Dicke, die werkzaam was aan het befaamde Massachusetts Institute of Technology (MIT), een efficiënte ontvanger had ontworpen die microgolven kon opvangen. Nu er technologie voor zowel een zender als een ontvanger beschikbaar was, lag er een nieuw middel voor draadloze communicatie op tafel.

In 1959 bouwde Bell Laboratories de hoornantenne van Holmdel, om microgolven op te vangen die van satellieten terugkaatsten. Maar de belangstelling nam af en men richtte zich op andere technologieën voor draadloze communicatie. Bell leende de antenne vervolgens uit aan wetenschappers die nuttig werk konden verrichten met een reusachtige microgolfhoorn. Penzias en Wilson namen zich voor de sterrenhemel in kaart te brengen. Op 20 mei 1964 klonnen ze in de regelkamer, een soort verhoogd tuinschuurtje dat in verbinding stond met de achterkant van de hoornantenne, en richtten de antenne omhoog. Maar waar ze ook keken, zelfs toen ze de reusachtige antenne naar donkere regio's aan de nachtelijke hemel met heel weinig sterren richtten, ze bespeurden alleen een lage achtergrondruis, een soort atmosferische storing of gesis.¹ De twee mannen stonden voor een raadsel.

Hun eerste gok was dat ze last hadden van een bepaalde interferentie van een lokale bron van microgolven. Ze controleerden en elimineerden diverse mogelijkheden, zoals de stad New York, atoomproeven, een militair complex in de buurt en atmosferische storingen. Ze kropen in de antenne zelf, waar ze een paar broedende duiven ontdekten. Ze kregen het vermoeden dat duivenpoep weleens de oorzaak kon zijn. Ze zetten vallen en ruimden de duivenpoep op. Toen de vogels toch nog terugkeerden, schoten de we-

tenschappers zelfs op ze. Maar ook na het afschieten van de duiven kwam er niets terug dan een uniforme ruis, waar ze hun instrument ook maar heen richtten aan de nachtelijke hemel.

Op ongeveer een uur rijden van Holmdel staat Princeton University. Na de oorlog was Robert Dicke daarheen verhuisd om college te gaan geven en kwam hij aan het hoofd te staan van een onderzoeksgroep die zich bezighield met deeltjesfysica, lasers en kosmologie. Zijn lab was gespecialiseerd in het ontwikkelen van gevoelige instrumenten om de kosmologische voorspellingen van Einsteins algemene relativiteitstheorie te testen. De kosmologie werd toentertijd beheerst door twee rivaliserende groepen theoretici, die een verklarende theorie zochten voor de verbluffende ontdekking door Edwin Hubble van enkele tientallen jaren eerder dat het heelal steeds verder uitdijt. Het ene kamp was voorstander van de theorie van een stationair heelal, een zogeheten *steady-state*, waarbij het heelal zich altijd al verder uitbreidde, en daarbij in balans werd gehouden door een voortdurende creatie van nieuwe materie in de open ruimtes. De rivaliserende groep, met onder meer Dicke, nam deze uitdijng als gegeven aan en volgde haar terug in de tijd met het voorstel dat het heelal ongeveer 14 miljard geleden moest zijn ontstaan met een gigantische explosie vanuit een piepklein puntje.

11

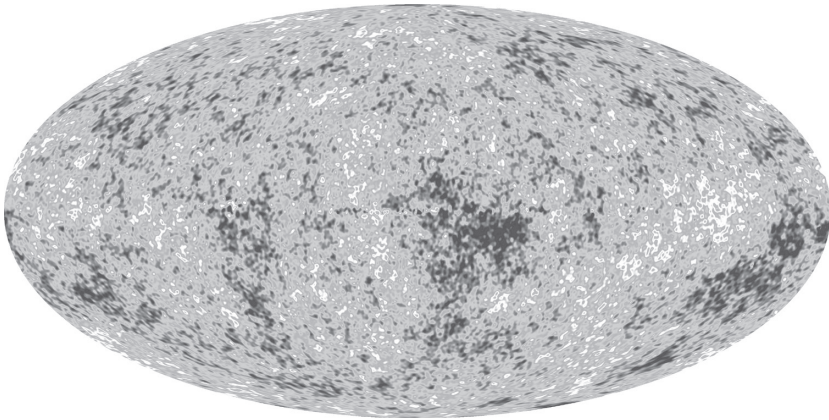
Het probleem was dat de rivaliserende theorieën moeilijk van elkaar te onderscheiden waren, omdat ze beide sterk vergelijkbare voorspellingen deden. Dicke zag echter in dat het ontstaan van het heelal vanuit een grote explosie een bepaald tastbaar bewijs in de kosmos moest hebben achtergelaten in de vorm van een egale wolk van microgolfstraling met een lage energie. Hij realiseerde zich dat het type radardetectoren dat hij bij het MIT had ontwikkeld kon worden aangepast om die kosmische energiewolk te bespeuren. De microgolfstraling zou echter zeer zwak zijn, veel zwakker dan elk bekend radio- of radarsignaal. Voor de ontdekking ervan zou een nieuwe generatie uiterst gevoelige microgolfdetectoren nodig zijn. Dicke en zijn Princetongroep gingen aan de slag om zo'n apparaat te bouwen.

In de loop van de daaropvolgende maanden en jaren hielden leden van de groep lezingen over hun onderzoek met een beschrijving van hun gestage voortgang. Een collega van Penzias en Wil-

son woonde een van deze lezingen bij en gaf de informatie van de inspanningen van de Princetongroep aan hen door. Zou de door de hoornantenne geregistreerde aanhoudende microgolfruis het signaal kunnen zijn dat Dicke zocht? Penzias besloot er een belletje naar Robert Dicke aan te wagen. Dicke kreeg het telefoontje toen hij een gezamenlijke lunch met zelf meegebracht eten hield op zijn kantoor aan Princeton. Zijn collega's weten nog goed dat Dicke de telefoon aannam en aandachtig luisterde, terwijl hij zo nu en dan instemmend knikte en termen herhaalde als 'hoornantenne' en 'storende ruis'. Eindelijk legde hij de hoorn neer, draaide zich om naar zijn groep en zei: 'Nou jongens, ze zijn ons vóór.' Dicke beseftte dat Penzias en Wilson de oerknal hadden ontdekt.

De volgende dag reed Dicke met zijn team naar de Bell Laboratories om de hoornantenne te bewonderen en de meetgegevens aan een nauwkeuriger blik te onderwerpen. Ze keerden terug in de overtuiging dat Penzias en Wilson inderdaad de van de oerknal resterende microgolven hadden ontdekt. Wat nog de meeste indruk op beide teams maakte, was de egale structuur van de kosmische achtergrondstraling (CMB, cosmic microwave background), zoals deze later werd genoemd. Deze had, voor zover zij konden nagaan, overal waar ze aan de hemel keken precies dezelfde intensiteit. Deze ontdekking leverde Penzias en Wilson in 1978 de Nobelprijs op. Ruim tien jaar later lanceerde de NASA de satelliet COBE (cosmic background explorer) om nauwkeuriger metingen te verrichten. Deze ontdekte lichte rimpelingen in de CMB, met variaties in stralingsintensiteit van minder dan een honderdduizendste. Dat is heel wat minder dan de variatie in witheid die je zou kunnen waarnemen op het helderst witte vel papier dat je ooit onder ogen hebt gehad. Weer tien jaar later, in 1998, lanceerde het European Space Agency (ESA) een eigen microgolfdetector, het Planck Space Observatory, die een bevestiging leverde van zowel de lichte rimpelingen als de buitengewoon egale structuur van de CMB.

De CMB is een soort foto die van het heelal is genomen op het moment dat het kleiner in omvang was dan het Melkwegstelsel. De eenvormigheid laat ons zien dat toen de eerste uitbarsting van licht uit biljoenen atomen zich voordeed, ons heelal eenvoudig was. De CMB is in feite nog steeds het eenvoudigste object dat we tegenwoordig kennen; simpeler dan een atoom. De CMB kan worden



Figuur 2: Kosmische achtergrondstraling.

beschreven met één enkel getal – 0,00001 – als aanduiding van de mate van variatie in de intensiteit van de rimpelingen. Neil Turok, oud-directeur van het Perimeter Institute for Theoretical Physics in Ontario, Canada, zei hier onlangs over dat de CMB ons vertelt dat ‘het heelal verbazingwekkend eenvoudig blijkt te zijn [...], zo eenvoudig dat] we niet snappen hoe de natuur het ermee heeft gered’.²

Het heelal ‘herinnert zich’ zijn eenvoudige begin, waardoor de botten ervan 14 miljard jaar na de oerknal nog steeds eenvoudig zijn. Dit boek gaat over het blootleggen van die botten – de eenvoudige bouwstenen van ons heelal – met een stuk gereedschap dat bekendstaat als het scheermes van Ockham, dat is vernoemd naar de Engelse franciscaan William van Ockham, die zevenhonderd jaar eerder dan Penzias en Wilson leefde.

Mijn eigen interesse in eenvoud ontstond tijdens een congres over biologie op de plek waar ik werk, de Universiteit van Surrey in Groot-Brittannië, rond de tijd dat de ESA zijn Planck-satelliet lanceerde om metingen aan de CMB te verrichten. Ik luisterde naar een lezing met de provocerende titel ‘Occam’s razor has no place in biology’, die werd gehouden door mijn vriend en collega Hans Westerhoff. De strekking van Hans’ betoog was dat het leven te complex is, zelfs ‘onherleidbaar complex’ volgens Hans, om enig nut van Ockhams scheermes te hebben. In die tijd, meer dan twintig jaar geleden, wist ik niets over Ockham en nauwelijks meer over zijn scheermes, maar ik wist wel dat ik elke dag op weg naar mijn

werk langs een bord reed dat de richting naar het dorp Ockham aangaf. Die samenloop van omstandigheden was voldoende om me nieuwsgierig te maken en nog diezelfde avond op internet te gaan zoeken wat ik aan informatie kon vinden om de reputatie van ons regionaal geïnspireerd scheermes te redden.

14 Mijn zoektocht bracht al snel aan het licht dat het scheermes inderdaad was vernoemd naar William van Ockham, die in de late dertiende eeuw was geboren in het nabijgelegen dorp in Surrey. Nadat hij was toegetreden tot de orde van de franciscanen studeerde hij theologie in Oxford, waar hij zijn voorkeur voor de eenvoudigste oplossingen ontwikkelde. Dit idee was niet volkomen nieuw, maar Ockhams rigoureuze toepassing van dit principe om een groot deel van de middeleeuwse filosofie te ontmantelen werd zo berucht dat de Franse theoloog Libert Froidmont drie eeuwen na Williams dood de term ‘scheermes van Ockham’ bedacht als verwijzing naar zijn voorkeur om overtollige complexiteit weg te scheren.³

Vandaag de dag is het scheermes vooral bekend in de zin van ‘eenheden moeten niet zonder noodzaak worden vermeerderd’. Met ‘eenheden’ wordt hier verwezen naar de delen van een hypothese, verklaring of model van een bepaald systeem. Als je dus onverwachts met je hoornantenne microgolven ontdekt, kijk dan eerst naar bekende eenheden om het verschijnsel te verklaren, zoals radarapparatuur of duiven, voordat je met iets nieuws op de prop-pen komt zoals oerknallen. Voor zover we weten heeft William nooit zijn voorkeur voor spaarzaamheid uitgesproken in precies de hier genoemde vorm, maar hij gaf wel uiting aan hetzelfde sentiment in uitspraken als ‘meervoudigheid moet nooit worden gesteld zonder noodzaak’, of ‘het is zinloos om met meer te doen wat kan worden gedaan met minder’.

In de avond na Hans’ lezing begon ik het verhaal van William uit te pluizen, en hoe meer ik erover te weten kwam, des te fascinerender werd zijn verhaal. Toen zijn ideeën, met inbegrip van zijn ontmanteling van alle gevestigde ‘godsbewijzen’, buiten Oxford bekend raakten, leidde dat tot een aanklacht wegens het aanzetten tot ketterij en tot een dagvaarding voor een gerechtelijk onderzoek bij de paus in Avignon. Maar in Avignon raakte hij verwickeld in een nog gevaarlijker conflict tussen de paus en de franciscanen. Het bracht William ertoe de paus van ketterij te beschuldigen, waarna

hij de stad moest ontvluchten terwijl hij werd achtervolgd door leden van de pauselijke garde.

Dit waren spannende lotgevallen, maar inmiddels had ik voldoende munitie vergaard om onze plaatselijke held te verdedigen. De volgende dag wees ik er in mijn eigen lezing op dat het scheermes in zijn bekendste formulering alleen vereist dat ‘eenheden niet zonder noodzaak moeten worden vermeerderd’. Die eis ‘niet zonder noodzaak’ is ruimhartig. Als alle eenvoudiger verklaringen voor een verschijnsel falen, dan laat het scheermes je de volledige vrijheid om een beroep te doen op zoveel absurde ideeën als je maar nodig hebt, zoals de bewering dat het heelal 14 miljard jaar geleden uit een oneindig klein puntje tevoorschijn sprong, als dat nodig is om je meetgegevens te verklaren. Van Sherlock Holmes is de bekende uitspraak: ‘Wanneer je het onmogelijke hebt geëlimineerd, moet dat wat overblijft, hoe onwaarschijnlijk het ook is, de waarheid zijn.’⁴ Tegen het bezwaar van Hans dat het scheermes een te bot instrument is om er de dunne zenuwen van de biologie mee te behandelen, bracht ik daarom in dat de voorwaarde ‘zonder noodzaak’ ons toelaat net zoveel eenheden te verzinnen als we nodig hebben, zolang we het daar maar bij laten.

15

De discussie tussen ons gaat nog voort, maar loopt nu parallel met mijn bredere fascinatie voor William, zijn werk en de rol van zijn scheermes in de wetenschap. Mijn onderzoek heeft me van de kloostergangen in Oxford en de paleizen in Avignon naar de eerste vonken van de moderne wetenschap in de middeleeuwse wereld gevoerd. Vanhier volgde ik het spoor van het scheermes zoals dat werd opgepikt door de reuzen van de moderne wetenschap, van Copernicus en Kepler tot Newton, Darwin en Einstein, die allemaal blijk gaven van een voorkeur voor eenvoudige oplossingen. Deze zoektocht heeft me ervan overtuigd dat eenvoud niet alleen een middel van de wetenschap is, naast het doen van experimenten, maar dat eenvoud ook net zo’n centrale plaats in de wetenschap heeft als getallen in de wiskunde of noten in de muziek. Uiteindelijk is eenvoud volgens mij bepalend voor het onderscheid tussen de wetenschap en de talloze andere pogingen om de wereld te doorgronden. In 1934 stelde Albert Einstein: ‘Het hogere doel van alle wetenschap [is] het herleiden van het grootste aantal empirische feiten op basis van logische deductie uit het kleinst mogelijke

aantal hypothesen of axioma's.⁵ Ockhams scheermes helpt ons dat 'kleinst mogelijke aantal hypothesen of axioma's' te vinden.

16 Het werk van Ockhams scheermes is ook nog niet voltooid. Terwijl de natuurkunde langzaam voortkruipt naar zo eenvoudig mogelijke theorieën, hebben biologen er grote moeite mee om eenvoudige theorieën te distilleren uit de aanzwellende stroom data die wordt aangeleverd door de genomica en andere technologieën die op 'omica' eindigen. De theorie is bovendien tegenwoordig nog steeds net zo controversieel als in de tijd van Ockham. Statistici discussiëren onophoudelijk over de waarde en de betekenis ervan. Pasgeleden publiceerden enkele Franse wetenschappers een paper waarin ze betoogden dat eenvoudige modellen, bijgeslepen door het scheermes, beter inzicht gaven in de COVID-19-pandemie die hun land overspoelde dan de logge en omvangrijke modellen die de meeste epidemiologen hanteerden. In de allermooiste wetenschap biedt de eenvoud ons nog altijd de meest diepgaande, raadselachtige en soms verontrustende inzichten.

Het verrassendst is misschien dat het steeds duidelijker wordt dat de waarde van het scheermes van Ockham niet beperkt blijft tot de wetenschap. William Shakespeare sprak in *Hamlet* al van 'kortheid is de ziel van geestkracht', en het principe is nadrukkelijk aanwezig in de moderne tijd. Eenvoud kenmerkt de moderne cultuur, van de minimalistische muziek van John Cage tot de klare lijnen in de architectuur van Le Corbusier, de sobere taal van Samuel Beckett of de strakke lijnen van de iPad. Het scheermes van Ockham ligt ten grondslag aan het devies *Less is more* van de architect Mies Van Der Rohe, aan de instructie van de computerwetenschapper Bjarne Stroustrup 'Maak eenvoudige taken eenvoudig', en de opmerking van de schrijver en piloot Antoine de Saint-Exupéry: 'Het lijkt erop dat perfectie niet wordt bereikt wanneer er niets meer over is om toe te voegen, maar wanneer er niets meer is om weg te halen.' In de wereld van techspecialisten is het principe het bekendst onder het acroniem KISS, ofwel *Keep it simple, stupid*, een ontwerpprincipe dat in de jaren zestig werd aangehangen door de Amerikaanse marine maar dat nu universeel wordt gezien als het fundament voor een goede technologische constructie. De moderne wereld wordt gedragen door het scheermes van Ockham.

Laat het ook duidelijk zijn wat ik níet met dit boek beoog. Het