

# INHOUD

## INLEIDING 9

### DEEL I VERDWAALD IN DE KOSMOS 15

- 1 Hoe bouw je een heelal 17
- 2 Welkom in het zonnestelsel 26
- 3 Het heelal van de Eerwaarde Evans 35

### DEEL II DE GROOTTE VAN DE AARDE 45

- 4 De maat der dingen 47
- 5 De steenbrekers 65
- 6 Een wetenschappelijke strijd op leven en dood 80
- 7 Elementaire zaken 96

### DEEL III EEN NIEUW TIJDPERK WORDT GEBOREN 111

- 8 Einsteins universum 113
- 9 Het machtige atoom 130
- 10 Weg met het lood 144
- 11 Quarks voor Muster Mark 155
- 12 De aarde is in beroering 166

### DEEL IV DE GEVAARLIJKE PLANEET 177

- 13 BOEM! 179
- 14 Het vuur onder onze voeten 196
- 15 Gevaarlijke schoonheid 211

DEEL V

HET LEVEN ZELF 223

- 16 De eenzame planeet 225  
17 In de troposfeer 239  
18 De gesprongen hoofdleiding 252  
19 Het ontstaan van het leven 267  
20 Een kleine wereld 281  
21 Het leven gaat verder 298  
22 Voorgoed voorbij 311  
23 De rijkdom van het bestaan 325  
24 Cellen 344  
25 Darwins unieke idee 353  
26 De essentie van het leven 367

DEEL VI

OP WEG NAAR DE MENS 385

- 27 De ijstijd 387  
28 De raadselachtige tweevoeter 400  
29 De rusteloze aap 418  
30 Vaarwel 433

- Noten 442  
Bibliografie 480  
Dankbetuiging 493  
Register 495

De natuurkundige Leo Szilard liet zijn vriend Hans Bethe op een keer weten dat hij erover dacht een dagboek te gaan bijhouden: 'Ik ben niet van plan het te publiceren. Ik ga slechts de feiten vastleggen ter informatie van God.' 'Denk je dan niet dat God de feiten kent?' vroeg Bethe. 'Jawel,' zei Szilard. 'Hij kent de feiten, maar hij kent deze versie van de feiten niet.'

– Hans Christian von Baeyer, *Taming the Atom*



## INLEIDING

**W**elkom. En mijn gelukwensen. Ik ben heel blij dat het je is gelukt. Het was niet makkelijk om hier te komen. Eigenlijk denk ik dat het nog moeilijker was dan je denkt.

Om te beginnen moesten zich voor jouw bestaan biljoenen rondzwerende atomen op een complexe en intrigerend dienstbare manier samenvoegen. Dit is een ordening die zo ingewikkeld en bijzonder is dat het nooit eerder is geprobeerd en alleen deze ene keer zal bestaan. Gedurende de vele jaren die komen (hopen we) zullen deze minieme deeltjes zich zonder protest bezighouden met al die miljarden kundige, coöperatieve verrichtingen die nodig zijn voor je bestaan en je de hoogst aangename, maar in het algemeen ondergewaardeerde toestand te laten ervaren die we het leven noemen.

Waarom atomen al die moeite doen is niet helemaal duidelijk. Jouw vorming op het niveau van een atoom is niet echt bevredigend. Want in weerwil van al hun toewijding zijn atomen totaal niet in jou geïnteresseerd – sterker nog, ze weten zelfs niet dat je er bent. Ze weten zelfs niet dat zij er zijn. Tenslotte zijn het onbewuste deeltjes die ook nog eens niet zelf leven. (Het is een nogal fascinerende gedachte dat als je jezelf met een pincet uiteennemen zou, het ene atoom na het andere, je een hoop fijne atoomstofjes zou krijgen waarvan er niet een ooit heeft geleefd, maar die wel met z'n allen jou hebben gevormd.) Toch zullen ze voor de duur van je bestaan gehoor geven aan één enkele, alles overkoepelende impuls: jou jou laten zijn.

Het slechte nieuws is dat atomen wispelturig zijn en dat de duur van hun toewijding kortstondig is – jazeker, kortstondig. Zelfs een langdurig mensenleven komt alles bij elkaar neer op zo'n 650 000 uur. En als die bescheiden mijlpaal voorbijschiet, of op een ander moment niet ver daar vandaan, zullen je atomen om onbekende redenen een eind aan je maken, je in stilte afbreken en weggaan om andere dingen te zijn. En dat was het dan voor jou.

Je mag echter blij zijn dat het überhaupt gebeurt. Voor zover we weten vindt dit nergens anders in het heelal plaats. Dit is in alle opzichten vreemd, omdat de atomen die op aarde zo gul en gelijkgezind samenkomen om le-

vende dingen te vormen, precies dezelfde atomen zijn die weigeren dat elders te doen. Wat het verder ook mag zijn, op chemisch gebied is het leven opmerkelijk aards: koolstof, waterstof, zuurstof, stikstof, een beetje calcium, een snufje zwavel, een dun laagje van andere, heel normale elementen – niets dat je niet bij een gewone drogist kunt vinden – dat is alles wat je nodig hebt. Het enige bijzondere aan de atomen die je vormen is dat ze je vormen. En dat is uiteraard het wonder van het leven.

Of atomen nu elders in het heelal leven vormen of niet, ze vormen heel veel andere dingen; sterker nog, ze vormen al het andere. Zonder atomen zou er geen water of lucht of gesteente zijn, geen sterren en planeten, geen verre gaswolken of wervelende nevels of al die andere dingen die het universum zo materieel maken. Atomen zijn zo alomtegenwoordig en noodzakelijk dat we er makkelijk aan voorbijgaan dat ze feitelijk helemaal niet hoeven te bestaan. Er is geen wetmatigheid die vereist dat het heelal zich met kleine stofdeeltjes vult, of dat het licht, zwaartekracht of andere natuurkundige eigenschappen waarvan ons bestaan afhangt, produceert. Er hoeft eigenlijk helemaal geen heelal te zijn. En gedurende het grootste deel van de tijd was dat er ook niet. Er waren geen atomen en er was geen heelal voor ze om in rond te zweven. Er was niets – er was in de verste verte helemaal niets.

Goddank dus dat er atomen zijn. Maar het feit dat je atomen hebt en dat ze zich op zo'n gewillige manier samenvoegen, is slechts een deel van wat je hier bracht. Om nu hier te zijn, in de twintigste eeuw te leven en slim genoeg te zijn om dat te beseffen, moest je ook nog eens de begunstigde zijn van een buitengewone keten van biologische meevallers. Overleven op aarde is een verrassend riskante aangelegenheid. Van de vele miljarden levensvormen die sinds het begin der tijden hebben bestaan zijn de meeste – 99,9 procent – niet langer aanwezig. Want het leven op aarde is niet alleen kort, maar ook ontmoedigend kwetsbaar. Het is een merkwaardig kenmerk van ons bestaan dat we van een planeet komen die bijzonder goed is in het voortbrengen van leven, maar nog beter in het vernietigen daarvan.

De gemiddelde soort op aarde overleeft niet langer dan zo'n vier miljoen jaar, dus als je miljarden jaren wilt voortbestaan, zou je even grillig moeten zijn als de atomen die je vormden. Je moet bereid zijn elk facet van jezelf te veranderen – vorm, grootte, kleur, soortgebondenheid, alles – en wel herhaaldelijk. Dat is makkelijker gezegd dan gedaan, omdat het veranderingsproces willekeurig is. Om van een 'atomair primordiaal protoplasmabolletje' (zoals in de opera van Gilbert en Sullivan) een bewust, rechtopstaand mens van deze tijd te worden, moest je voortdurend van eigenschappen veranderen, en wel op de juiste momenten gedurende een buitengewoon lange

tijd. Je hebt dus gedurende verschillende perioden in de laatste 3,8 miljard jaar zuurstof verafschuwd en vervolgens aanbeden, vinnen, ledematen en een elegante rugvin gekregen, eieren gelegd, een gevorkte tong door de lucht laten schieten, bent haarloos en harig geweest, hebt onder de grond geleefd, in bomen, bent zo groot als een hert geweest en zo klein als een muis, en nog een miljoen andere dingen. Als er ook maar iets van deze evolutionaire ontwikkeling afgeweken was zou je nu algen van grotwanden likken of als een walrus op een of andere rotsachtige kust rollen of lucht uitblazen via een gat in je hoofd om vervolgens tot een diepte van achttien meter te duiken voor een heerlijke bek vol pieren.

Niet alleen heb je het geluk gehad om sinds onheugelijke tijden verbonden te zijn geweest met een gunstige evolutionaire tak, maar je hebt ook buitengewoon – zeg maar verbazingwekkend – veel geluk gehad wat betreft je persoonlijke afstamming. Bedenk eens dat 3,8 miljard jaar geleden, een tijd ouder dan de bergen, rivieren en oceanen op aarde, ieder van je voorouders van beide kanten aantrekkelijk genoeg was om een partner te vinden, gezond genoeg om zich voort te planten en voldoende gezegend door het lot en de omstandigheden om daarvoor lang genoeg te leven. Niet één van je voorouders werd verpletterd, opgevreten, verdronk, verhongerde, strandde, raakte bekneld, vroegtijdig gewond of anderszins afgeleid van de levensnoodzaak op het juiste moment aan de juiste partner een kleine hoeveelheid genetisch materiaal door te geven met als doel de vereeuwiging van de enig mogelijke reeks van erfelijke combinaties die kon resulteren – uiteindelijk, wonderlijk genoeg, en maar al te kort – in jou.

Dit boek gaat over hoe dat gebeurde – in het bijzonder hoe we van helemaal niets tot iets kwamen en hoe vervolgens een kleine hoeveelheid van dat iets in ons veranderde en ook over wat ertussendoor en sindsdien gebeurde. Dat is uiteraard een groot gebied om te behandelen, de reden waarom dit boek *Een kleine geschiedenis van bijna alles* heet, ook al is het dat niet echt. Het zou ook niet kunnen. Maar met een beetje geluk zal het tegen de tijd dat we het uit hebben de indruk maken dat wel te zijn.

Mijn eigen uitgangspunt was een geïllustreerd boek over natuurwetenschap dat ik in de vierde of vijfde klas als leerboek had. Het betrof hier een standaardleerboek uit de jaren vijftig – gehavend, onaantrekkelijk, ontmoedigend dik – maar ergens voorin stond een afbeelding die me zonder meer boeide: een schematische voorstelling die het binnenste van de aarde toonde zoals het eruit zou zien als je met een groot mes in de planeet sneed en voorzichtig een moot ter grootte van een kwart van zijn omvang verwijderde.

Het is nauwelijks voor te stellen dat er ooit een tijd was waarin ik nog niet eerder zo'n afbeelding had gezien, maar dat had ik duidelijk niet, want ik herinner me dat ik als aan de grond genageld stond. Ik vermoed, eerlijk gezegd, dat mijn aanvankelijke belangstelling was gebaseerd op een persoonlijke voorstelling waarin een stroom van nietsvermoedende, naar het oosten rijdende automobilisten in de vlakke staten van Amerika in een onvoorziene, 6400 kilometer diepe afgrond stort, een afgrond die van Midden-Amerika tot aan de noordpool liep; maar geleidelijk aan richtte mijn aandacht zich op een leergieriger wijze op het wetenschappelijke belang van de afbeelding en het besef dat de aarde uit afzonderlijke lagen bestond die in het midden uitkwamen op een gloeiende bal van ijzer en nikkel die, aldus het onderschrift, zo heet was als het oppervlak van de zon, en ik herinner me dat ik me met oprechte verbazing afvroeg: Hoe kunnen ze dat nu weten?

Ik heb geen moment aan de juistheid van die kennis getwijfeld – ik ben nog steeds geneigd de uitspraken van wetenschappers te vertrouwen, zoals ik ook vertrouw op die van chirurgen, loodgieters en andere bezitters van raadselachtige en bevoorrechte kennis – maar ik kon me godsonmogelijk voorstellen hoe een menselijke geest te weten kon komen hoe iets dat zich duizenden kilometers onder ons bevond en geen oog ooit had waargenomen en waar röntgenstralen niet doorheen kunnen dringen, eruit moest zien en waaruit het bestond. Voor mij was dat niet minder dan een wonder. Dat is sindsdien mijn houding tegenover de wetenschap gebleven.

Opgewonden nam ik het boek die middag mee naar huis, waar ik het nog voor het eten opensloeg – een gebeuren waarbij ik me voorstel dat mijn moeder mijn voorhoofd voelde en vroeg of het wel goed met me ging – om het vanaf de eerste bladzijde te gaan lezen.

En nu komt het. Het was helemaal niet opwindend. Het was eigenlijk totaal onbegrijpelijk. Daar komt nog bij dat het geen van de vragen beantwoordde die de afbeelding bij een gemiddelde onderzoekende geest zou oproepen: Hoe zijn we aan een zon in het centrum van onze planeet gekomen? En als het daar beneden voortdurend brandt, waarom voelt de grond onder onze voeten dan niet warm aan? En waarom smelt de rest van het binnenste niet – of smelt die wel? En als de kern ten slotte uitbrandt, zal dan een deel van de aarde in die leegte zakken, zodat er een enorme zinkput in het oppervlak achterblijft? En hoe kun je dit wéten? Hoe ben je dit te wéten gekomen?

Maar over zulke details was de auteur ongewoon zwijgzaam – sterker nog, hij zweeg over alles behalve anticlinen, synclinen, axiale breuken en dergelijke. Het leek wel of hij de dingen die ertoe deden geheim wilde houden door het allemaal nogal ondoorgrondelijk te maken. Naarmate de jaren vorderden begon ik te vermoeden dat het in geen geval een persoonlijke drijf-



veer betrof. Er leek een geheimzinnige wereldomvattende samenzwering tussen schrijvers van leerboeken te bestaan om er zeker van te zijn dat het materiaal dat ze behandelden nooit te dicht in de buurt van het enigszins interessante komt en altijd minstens mijlenver van het werkelijk interessante.

Ik weet dat er een verheugende overvloed is aan wetenschappelijke schrijvers die zeer helder en spannend proza schrijven – Timothy Ferris, Richard Fortey en Tim Flannery zijn er drie die eruit springen op een willekeurige plaats in het alfabet (en dan hebben we nog niet eens de overleden, maar goddelijke Richard Feynman genoemd) – maar helaas heeft geen van hen een leerboek geschreven dat ik ooit gebruikte. Al mijn leerboeken waren geschreven door mannen (het waren altijd mannen) die er de boeiende opvatting op na hielden dat alles duidelijk zou worden als het in formules werd uitgedrukt en die van de vermakelijke misvatting uitgaan dat Amerikaanse kinderen het zouden waarderen als de hoofdstukken eindigen met een lijst vragen die ze in hun eigen tijd kunnen overdenken. Dus groeide ik op in de overtuiging dat wetenschap uitgesproken saai was, maar met het vermoeden dat ze dat niet hoefde te zijn, zodat ik me er, als ik het kon vermijden, niet echt mee bezighield. Ook dit bepaalde lange tijd mijn houding.

Veel later echter – zo'n vier à vijf jaar geleden – bevond ik me op een lange vlucht boven de Grote Oceaan en staaarde doelloos uit het raampje naar de maanverlichte oceaan en het werd me op een pijnlijke manier duidelijk dat ik helemaal niets wist over de enige planeet waarop ik ooit zou wonen. Zo had ik bijvoorbeeld geen idee waarom de wereldzeeën zout waren en de Great Lakes niet. Ik had geen flauw benul. Ik wist niet of de wereldzeeën na verloop van tijd zouter werden of niet en of het zoutniveau van de wereldzeeën iets was waarover ik me zorgen zou moeten maken of niet. (Het verheugt me u te kunnen vertellen dat tot het eind van de jaren zeventig ook de wetenschappers geen antwoord op deze vragen hadden. Ze spraken er gewoon niet al te hoorbaar over.)

En het zoutgehalte van de oceaan stond uiteraard voor niet meer dan het geringste splintertje van mijn onwetendheid. Ik wist niet wat een proton of een proteïne was, kon geen quark van een quasar onderscheiden, begreep niet hoe geologen naar een rotslaag in de wand van een ravijn konden kijken om je te vertellen hoe oud die was, ik wist eigenlijk niets. Ik werd gegrepen door een heimelijke, ongewone behoefte iets over deze dingen te weten te komen en te begrijpen hoe men ze kon weten. Dat bleef voor mij het allergrootste raadsel: hoe konden wetenschappers die dingen weten? Hoe kan wie dan ook wéten hoe zwaar de aarde weegt en hoe oud haar gesteenten zijn of wat zich daar in de kern werkelijk bevindt? Hoe kunnen ze weten hoe en

wanneer het heelal begon en hoe het was toen het begon? Hoe weten ze wat er zich in een atoom afspeelt? En dan nog de vraag – misschien wel de belangrijkste –: hoe kan het dat wetenschappers vaak van alles lijken te weten, maar nog steeds geen aardbeving kunnen voorspellen of ons zelfs maar vertellen of we een paraplu moeten meenemen naar de races van volgende week woensdag?

Dus besloot ik een deel van mijn leven – drie jaar, naar nu is gebleken – te wijden aan het lezen van boeken en tijdschriften en het vinden van toegewijde, geduldige specialisten die bereid waren een heleboel buitengewoon domme vragen te beantwoorden. Het idee was om te zien of het mogelijk is de wonderen en werken van de wetenschap te begrijpen en te waarderen, me erover te verbazen, er zelfs van te genieten, op een niveau dat niet te technisch of veeleisend is, maar ook niet al te oppervlakkig.

Dat was mijn idee en mijn hoop en dat is wat het boek dat hier volgt wil zijn. Hoe dan ook, we hebben een groot gebied te beslaan en veel minder dan 650 000 uur om het in te doen, dus laten we beginnen.

DEEL I

VERDWAALD IN DE KOSMOS

Ze bevinden zich allemaal op hetzelfde vlak. Ze draaien allemaal rond in dezelfde richting... Weet je, het is volmaakt. Het is grandioos. Het is bijna griezelig.

– Sterrenkundige Geoffrey Marcy die het zonnestelsel beschrijft



## HOE BOUW JE EEN HEELAL

Ook al doe je nog zo je best, je zult nooit begrijpen hoe klein een proton is en hoe weinig ruimte het inneemt. Daarvoor is het gewoon veel te klein.

Een proton is een oneindig klein deel van een atoom, dat natuurlijk op zich al een onmogelijk klein iets is. Protonen zijn zo klein dat een inktstipje zo groot als de punt op deze i er ongeveer 500 000 000 000 van kan bevatten, om precies te zijn meer seconden dan een half miljoen jaar bevat. Het minste wat we ervan kunnen zeggen is dat ze kleiner dan microscopisch klein zijn.

Stel je nu voor dat je in staat bent (en dat ben je natuurlijk niet) een van die protonen terug te brengen tot een miljardste van zijn normale maat in een ruimte zo klein dat een proton er reusachtig zou lijken. Stop nu in die onvoorstelbaar kleine ruimte zo'n dertig gram materie. Uitstekend. Je staat op het punt een heelal te beginnen.

Ik ga er natuurlijk van uit dat je een uitdijend heelal wilt bouwen. Als je in plaats daarvan liever zo'n ouderwets standaard-oerknalheelal zou willen bouwen, zul je aanvullende materialen nodig hebben. In feite zul je alles wat er is moeten verzamelen – tot het laatste stofje en elementaire deeltje tussen hier en de uiterste grens van de schepping – en dat in een punt moeten persen die zo oneindig compact is dat ze in het geheel geen dimensies meer heeft. Dat wordt een singulariteit genoemd.

In beide gevallen zul je je op een heuse oerknal moeten voorbereiden. Uiteraard zou je een veilige plek willen opzoeken om het spektakel te observeren. Helaas kun je je nergens terugtrekken, omdat er buiten die singulariteit geen *ergens* is. Als het heelal begint uit te dijen, zal het zich niet verspreiden om een grotere leegte te vullen. De enige bestaande ruimte is de ruimte die het al doende schept.

Het is begrijpelijk maar verkeerd zich de singulariteit voor te stellen als een zwangere stip die in een duistere, grenzeloze leegte hangt. Er is immers geen ruimte, geen duisternis. De singulariteit heeft geen 'om haar heen' om haar heen. Er is voor haar geen plaats om in te nemen, geen plaats om te zijn.

We kunnen zelfs niet vragen hoe lang ze er al is; of ze nog niet zo lang geleden als een goed idee tevoorschijn is gesprongen of dat ze er altijd al was en rustig het juiste moment afwachtte. Tijd bestaat niet. Er is voor haar geen verleden om vandaan te komen.

En dus begint ons heelal vanuit niets.

In één enkele verblindende klap, een grandioos moment dat te snel en veelomvattend is om in woorden uit te drukken, neemt de singulariteit hemelse afmetingen aan, wordt ze een onvoorstelbare ruimte. In de eerste levendige seconde (een seconde waaraan menig kosmoloog zijn carrière wijdt om die in steeds dunnere flintertjes te schaven) zijn de zwaartekracht en de andere krachten die de natuur bepalen ontstaan. In minder dan een minuut heeft het heelal een doorsnede van een miljoen maal een miljard kilometer en het groeit snel. Er is nu een grote hitte, tien miljard graden, genoeg om de nucleaire reacties te starten die de lichtere elementen scheppen; voornamelijk waterstof en helium, met een tikkeltje (ongeveer één atoom op de honderd miljoen) lithium. In drie minuten is 98 procent geproduceerd van alle materie die er is of ooit zal zijn. We hebben een heelal. Het is een plek met heel wonderbaarlijke en uiterst bevredigende mogelijkheden, en ze is nog schitterend ook. En dat alles gebeurde in de tijd die nodig is om een boterham klaar te maken.

Wanneer dit moment plaatsvond is een nogal omstrede zaak. Kosmologen hebben lang gestreden over de vraag of het moment van het ontstaan tien miljard jaar geleden was of het dubbele daarvan of ergens daartussenin. Men lijkt het erover eens te worden dat het ongeveer 13,7 miljard jaar moet zijn, maar dit soort zaken zijn, zoals we verderop zullen zien, notoir moeilijk te meten. Het enige wat met zekerheid kan worden gezegd is dat er op een niet nader te bepalen punt in het verre verleden, om onbekende redenen, een moment kwam dat in de wetenschap bekendstaat als  $t = 0$ . We waren op weg.

Er is uiteraard heel wat waar we niets van weten, en veel van wat we denken te weten hebben we lange tijd niet geweten of gemeend te weten. Zelfs het begrip oerknal is vrij recent. Er werd al sinds de jaren twintig met het idee gespeeld toen Georges Lemaître, een Belgische priester en wetenschapper, het voor het eerst voorzichtig voorstelde, maar pas halverwege de jaren zestig werd het een serieus begrip in de kosmologie toen twee jonge radio-astronomen een buitengewone en onverwachte ontdekking deden.

Hun namen waren Arno Penzias en Robert Wilson. In 1965 probeerden ze gebruik te maken van een grote schotelantenne van de Bell Laboratoria in Holmdel, New Jersey, maar ze werden gehinderd door een aanhoudend achtergrondgeluid, een continu geruis als van ontsnappende stoom dat elk experimenteel onderzoek onmogelijk maakte. Het geruis was constant en on-

gericht. Het kwam van overal in de ruimte, dag en nacht, het hele jaar door. Een jaar lang deden de jonge sterrenkundigen al het denkbare om het geruis te achterhalen en te elimineren. Ze testten elk elektronisch systeem. Ze herbouwden instrumenten, onderzochten circuits, rommelden aan draden, stoffen pluggen af. Ze klommen in de schotel en brachten leidingtape aan over elke naad en klinknagel. Ze klommen met bezems en borstels in de schotel en verwijderden voorzichtig wat ze later in een wetenschappelijk artikel ‘wit diëlektrisch materiaal’ zouden noemen, maar wat gewoonlijk als vogelpoep bekendstaat. Wat ze ook probeerden, het werkte niet.

Wat ze niet wisten was dat nog geen 50 kilometer verderop aan de universiteit van Princeton een team van wetenschappers onder leiding van Robert Dicke bezig was nu juist dat te vinden waar zij zo ijverig van af probeerden te komen. De onderzoekers van Princeton werkten een idee uit dat in de jaren veertig naar voren was gebracht door de in Rusland geboren astrofysicus George Gamov, dat als je maar diep genoeg in de ruimte zocht, je zoiets als een van de oerknal overgebleven kosmische achtergrondstraling zou vinden. Gamov berekende dat tegen de tijd dat deze straling de uitgestrektheid van de kosmos had doorkruist, ze de aarde in de vorm van microgolven zou bereiken. In een later geschreven artikel had hij zelfs op een instrument gewezen dat hiervoor geschikt zou zijn: de ontvanger van Bell in Holmdel. Helaas hadden noch Penzias en Wilson noch iemand van het team van Princeton Gamovs artikel gelezen.

Het geluid dat Penzias en Wilson hoorden was, uiteraard, het geluid dat Gamov had voorondersteld. Ze hadden de grens van het heelal ontdekt, of in elk geval het waarneembare deel daarvan, 150 miljard maal een biljoen kilometer ver. Ze ‘zagen’ de eerste fotonen, het oudste licht in het heelal, hoewel tijd en afstand ze in microgolven hadden omgezet, precies zoals Gamov had voorspeld. In zijn boek *The Inflationary Universe* komt Alan Guth met een analogie die het makkelijker maakt om deze vondsten in het juiste licht te plaatsen. Als je het in de diepte van het heelal kijken voorstelt als het omlaag kijken vanaf de honderdste verdieping van het Empire State Building (waarbij de honderdste verdieping het nu voorstelt en de begane grond het moment van de oerknal), dan bevonden de verste sterrenstelsels die men in de tijd van Wilson en Penzias ooit had waargenomen zich ongeveer op de zestigste verdieping, en de verst verwijderde dingen – de quasars – ongeveer op de twintigste. De ontdekking van Penzias en Wilson bracht onze bekendheid met het waarneembare heelal tot zo’n anderhalve centimeter van het trottoir.

Nog onbekend met de oorzaak van het geluid, belden Wilson en Penzias Dicke in Princeton en beschreven hem hun probleem in de hoop dat hij met

een oplossing zou komen. Dicke beseftte meteen wat de beide jonge wetenschappers hadden ontdekt. ‘Zo, jongens, ze zijn ons voor geweest,’ zei hij tegen zijn collega’s nadat hij had opgehangen.

Niet lang daarna publiceerde het *Astrophysical Journal* twee artikelen: een van Penzias en Wilson, waarin ze hun experiment met de ruis beschreven; het andere van Dicke en zijn team, die de aard ervan verklaarden. Hoewel Penzias en Wilson niet naar kosmische achtergrondstraling hadden gezocht, niet wisten wat het was toen ze het vonden, noch in enig artikel de aard ervan hadden verklaard, ontvingen ze in 1978 de Nobelprijs voor natuurkunde. De onderzoekers van Princeton kregen niet meer dan waardering. Volgens Dennis Overbye, in *Lonely Hearts of the Cosmos*, begreep Penzias noch Wilson echt het belang van wat ze hadden ontdekt tot ze erover in *The New York Times* lazen.

Trouwens, storing door kosmische achtergrondstraling is iets wat we allemaal wel kennen. Stel je tv af op een willekeurig kanaal waarop je niets kunt ontvangen en ongeveer 1 procent van de dansende atmosferische storing die je ziet komt voor rekening van dit oude restant van de oerknal. Denk er de volgende keer aan als je klaagt dat er niets op tv is dat je nog altijd naar het ontstaan van het heelal kunt kijken.

Hoewel iedereen het de oerknal noemt, waarschuwt menig boek ons dit niet te zien als een explosie in de gebruikelijke zin. Het was eerder een snel, plotseling uitdijen op kolossale schaal. En wat veroorzaakte deze uitdijning?

Een van de theorieën is dat de singulariteit misschien een overblijfsel was van een vroeger, ineengeklapt heelal; dat ons heelal niet meer is dan een uit een oneindige reeks uitdijende en ineenslopende heelallen, vergelijkbaar met de blaasbalg van een beademingsmachine. Anderen schrijven de oerknal toe aan wat ze ‘een vals vacuüm’, ‘een scalair veld’ of ‘vacuümenergie’ noemen; hoe dan ook, een kwaliteit of iets dat een mate van instabiliteit bracht in het niets. Het lijkt onmogelijk dat je iets uit niets kunt verkrijgen, maar het feit dat er ooit niets was en er nu een heelal is, is een evident bewijs dat het mogelijk is. Het kan ook zijn dat ons heelal niet meer is dan een deel van meerdere grotere heelallen, waarvan sommige in andere dimensies voorkomen, en dat er voortdurend en overal oerknallen plaatsvinden. Verder kan het zijn dat ruimte en tijd voor de oerknal totaal andere vormen hadden – vormen die te vreemd zijn om ons er een voorstelling van te kunnen maken – en dat de oerknal een of andere overgangsfase vertegenwoordigt waarbij het heelal overging van een vorm die we niet kunnen begrijpen naar een andere die we bijna kunnen begrijpen. ‘Deze theorieën komen dicht in de buurt van religieuze vraagstukken,’ zei dr. Andrei Linde, een ster-





had bijgewoond die door niemand minder dan Robert Dicke werd gegeven. Deze lezing inspireerde Guth om zich in de kosmologie te verdiepen en in het bijzonder in het ontstaan van het heelal.

Het uiteindelijke resultaat was de inflatietheorie, die inhoudt dat een fractie van een moment na het begin van de schepping het heelal plotseling drastisch uitdijde. Het heelal zwol op, ging er in feite met zichzelf vandoor, verdubbelde elke  $10^{-34}$  seconde zijn omvang. De hele episode zal misschien niet langer hebben geduurd dan  $10^{-30}$  seconde – dat is één miljoen maal een miljoen maal een miljoen maal een miljoen maal een miljoenste van een seconde – maar het veranderde het heelal van iets dat je in je hand kon houden tot iets dat minstens 10 000 000 000 000 000 000 000 000 keer groter was. De inflatietheorie verklaart de rimpelingen en wervelingen die ons heelal mogelijk maken. Zonder dat zouden er geen klonten materie en dus geen sterren zijn, alleen maar drijvend gas en eeuwige duisternis.

Volgens Guths theorie verscheen de zwaartekracht bij een tiende miljoenste van een biljoenste maal een biljoenste maal een biljoenste van een seconde. Na een volgend, belachelijk kort interval kwamen hier het elektromagnetisme en de sterke en zwakke kernkrachten bij; de materie van de natuurkundige. Daar kwamen even later zwermen elementaire deeltjes bij; het wezen van de materie. Vanuit helemaal niets waren er ineens zwermen fotonen, protonen, elektronen, neutronen en nog veel meer; tussen de  $10^{79}$  en  $10^{89}$  van elk, aldus de standaard-oerknaltheorie.

Zulke hoeveelheden zijn uiteraard niet te bevatten. Het is voldoende te weten dat we in één enkel explosief moment in het bezit kwamen van een heelal dat zeer omvangrijk was – volgens de theorie met een doorsnede van minstens honderd miljard lichtjaar, maar mogelijk met een willekeurige omvang tot in het oneindige – en volmaakt uitgerust voor het ontstaan van sterren, melkwegstelsels en andere complexe systemen.

Vanuit ons standpunt gezien is het buitengewoon dat het heelal ons zo welgezind bleek te zijn. Als het heelal maar een klein beetje anders was gevormd – als de zwaartekracht maar een fractie sterker of zwakker was geweest – dan zouden er misschien nooit vaste elementen zijn geweest om jou en mij en de grond waarop we staan te vormen. Was de zwaartekracht ietsje sterker geweest, dan had het heelal zelf als een slecht opgezette tent in elkaar kunnen storten en had het ontbroken aan de juiste waarden om het de noodzakelijke afmetingen, dichtheid en componenten te geven. Was ze daarentegen iets zwakker geweest, dan zou niets zich hebben samengevoegd. Het heelal zou voor eeuwig een saaie, ijle leegte zijn geweest.

Dit is een van de redenen waarom sommige kenners geloven dat er nog

veel meer oerknallen geweest zijn, misschien wel biljoenen en biljoenen, verspreid over de onvoorstelbare tijdspanse van de eeuwigheid, en dat de reden van ons bestaan in dit specifieke heelal is dat dit een heelal is waarin we *kon-**den* bestaan. Zoals Edward P. Tryon van de universiteit van Columbia het ooit stelde: ‘Als antwoord op de vraag waarom het gebeurde, kom ik met het bescheiden idee dat ons heelal simpelweg een van die dingen is die zo nu en dan plaatsvinden.’ Waaraan Guth toevoegt: ‘Hoewel de schepping van een heelal heel onwaarschijnlijk lijkt, benadrukte Tryon dat niemand de mislukte pogingen had geteld.’

Martin Rees, de belangrijkste Britse sterrenkundige, gelooft dat er veel heelallen zijn, mogelijk oneindig veel, elk met verschillende kenmerken, in verschillende combinaties, en dat we gewoon leven in een heelal dat dingen combineert op een manier die ons in staat stelt er te zijn. Hij maakt een vergelijking met een zeer grote kledingzaak: ‘Als er een grote voorraad kleding is, ben je niet verrast een pak te vinden dat past. Als er veel heelallen zijn, elk bepaald door een andere reeks verhoudingen, dan zal er één zijn met een bepaalde reeks getallen die leven mogelijk maakt. In dat heelal bevinden we ons.’

Rees houdt het erop dat met name zes getallen ons heelal regeren en dat als een paar van die waarden ook maar minimaal gewijzigd zouden zijn, de dingen niet zo zouden zijn als ze zijn. Bijvoorbeeld, om het heelal te laten bestaan zoals het bestaat, is het nodig dat waterstof in helium verandert op een precieze maar naar verhouding grootschalige wijze, en wel zo dat zeven duizendste van zijn massa in energie wordt omgezet. Verlaag die waarde enigszins – zeg van 0,007 promille tot 0,006 promille – en er zou geen transformatie plaats kunnen vinden; het heelal zou uit niets anders dan waterstof bestaan. Verhoog de waarde enigszins – tot 0,008 promille – en de hechting zou zo waanzinnig krachtig zijn dat de waterstof sinds lang zou zijn opgebruikt. In elk geval zou bij de minste aanpassing van de getallen het heelal zoals we dat kennen en nodig hebben er niet zijn.

Ik zou zeggen dat alles tot dusver aardig klopt. Op de lange duur zou de zwaartekracht wel een beetje te sterk kunnen worden, en dat zou op zekere dag een einde aan de uitdijing van het heelal kunnen maken, zodat het ineens zou storten om te worden samengeperst tot een nieuwe singulariteit, mogelijk om het hele proces opnieuw te beginnen. Aan de andere kant zou ze te zwak kunnen zijn en zou het heelal voor altijd verder wegsnellen tot alles zo ver uiteenligt dat er geen kans op materiële interacties meer bestaat, waardoor het heelal een plek wordt die heel ruim is maar inert en dood. De derde optie is dat de zwaartekracht perfect is afgesteld – ‘kritische dichtheid’ is

de term die de sterrenkundigen hiervoor gebruiken – en dat ze het heelal in dezelfde omvang bijeen zal houden waardoor de dingen tot in het oneindige kunnen voortduren. Op minder serieuze momenten noemen sterrenkundigen dit het Goudlokje-effect: alles is precies juist. (Voor de goede orde, deze drie mogelijke heelallen staan respectievelijk bekend als gesloten, open en vlak.)

Nu is de vraag die bij ons allemaal op zeker moment moet zijn opgekomen: wat zou er gebeuren als je naar de grens van het heelal zou reizen en als het ware je hoofd tussen de gordijnen door zou kunnen steken? Waar zou je hoofd zijn als het zich niet langer in het heelal bevond? Wat zou je daarachter vinden? Het antwoord is, nogal teleurstellend, dat je nooit de grens van het heelal zal bereiken. Niet omdat het zoveel tijd zou vergen om er te komen – hoewel dat natuurlijk wel het geval zou zijn – maar omdat je, zelfs als je onophoudelijk en vastberaden in een rechte lijn zou reizen, nooit een uiterste grens zou bereiken. In plaats daarvan zou je op de plek komen waar je begon (op welk punt je waarschijnlijk het vertrouwen in de onderneming zou verliezen en het op zou geven). De reden hiervoor is dat het heelal gekromd is op een manier die we ons niet goed kunnen voorstellen; dit in overeenstemming met Einsteins relativiteitstheorie (waarover we het te zijner tijd nog zullen hebben). Voor het moment is het voldoende te weten dat we niet stuurloos in een of andere grote, eeuwig uitdijende bel ronddobberen. In feite is het zo dat de ruimte gekromd is op een wijze die haar in staat stelt grenzeloos en toch eindig te zijn. Van de ruimte kan zelfs niet met recht worden gezegd dat ze uitdijt omdat, volgens de natuurkundige en Nobelprijswinnaar Steven Weinberg, ‘zonnestelsels en melkwegstelsels niet uitdijen, en ook de ruimte als zodanig niet’. Wat er gebeurt is dat de melkwegstelsels uiteenrazen. Dit alles vraagt nogal wat van ons voorstellingsvermogen. Of zoals de bioloog J.B.S. Haldane het ooit schitterend verwoordde: ‘Het heelal is niet alleen vreemder dan we veronderstellen, het is vreemder dan we kunnen veronderstellen.’

De analogie die gewoonlijk wordt gegeven om de kromming van de ruimte uit te leggen is zich iemand voor te stellen die uit een heelal van platte vlakken komt en nog nooit een bol heeft gezien, en die naar de aarde is gebracht. Het maakt niet uit hoe ver hij over het oppervlak van de aarde dwaalt, hij zou nooit een grens tegenkomen. Hij zou uiteindelijk terugkeren op de plek waar hij vandaan kwam en uiteraard op geen enkele manier kunnen verklaren hoe dat kon gebeuren. Wij bevinden ons in dezelfde positie in de ruimte als onze perplexe platlander, zij het dat wij in verwarring worden gebracht door een hogere dimensie.

Net zomin als er een plek is waar je de grens van het heelal kunt vinden, is