

INHOUD

Inleiding	15
DEEL I Verdwaald in de kosmos	23
1 Hoe bouw je een heelal	25
2 Welkom in het zonnestelsel	35
3 Het heelal van de eerwaarde Evans	45
DEEL II De grootte van de aarde	57
4 De maat der dingen	59
5 De steenbrekers	79
6 Een wetenschappelijke strijd op leven en dood	96
7 Elementaire zaken	114
DEEL III Een nieuw tijdperk breekt aan	133
8 Einsteins universum	135
9 Het machtige atoom	155
10 Weg met het lood	171
11 Quarks voor Muster Mark	182
12 De aarde is in beroering	198
DEEL IV De gevaarlijke planeet	211
13 Boem!	213
14 Het vuur onder onze voeten	233
15 Gevaarlijke schoonheid	249
DEEL V Het leven zelf	261
16 De eenzame planeet	263
17 In de troposfeer	279

18 De gesprongen hoofdleiding	294
19 Het ontstaan van het leven	316
20 Een kleine wereld	330
21 Het leven gaat verder	348
22 Voorgoed voorbij	361
23 De rijkdom van het bestaan	377
24 Cellen	402
25 Darwins unieke idee	414
26 De essentie van het leven	430
DEEL VI Op weg naar de mens	449
27 De ijstijd	451
28 De raadselachtige tweevoeter	465
29 De rusteloze aap	483
30 Vaarwel	494
Dankwoord	505
Bibliografie	507
Noten	521
Register	554



MILLION
YR'S AGO

800

545

503

438

PERIOD

CAMBRIAN

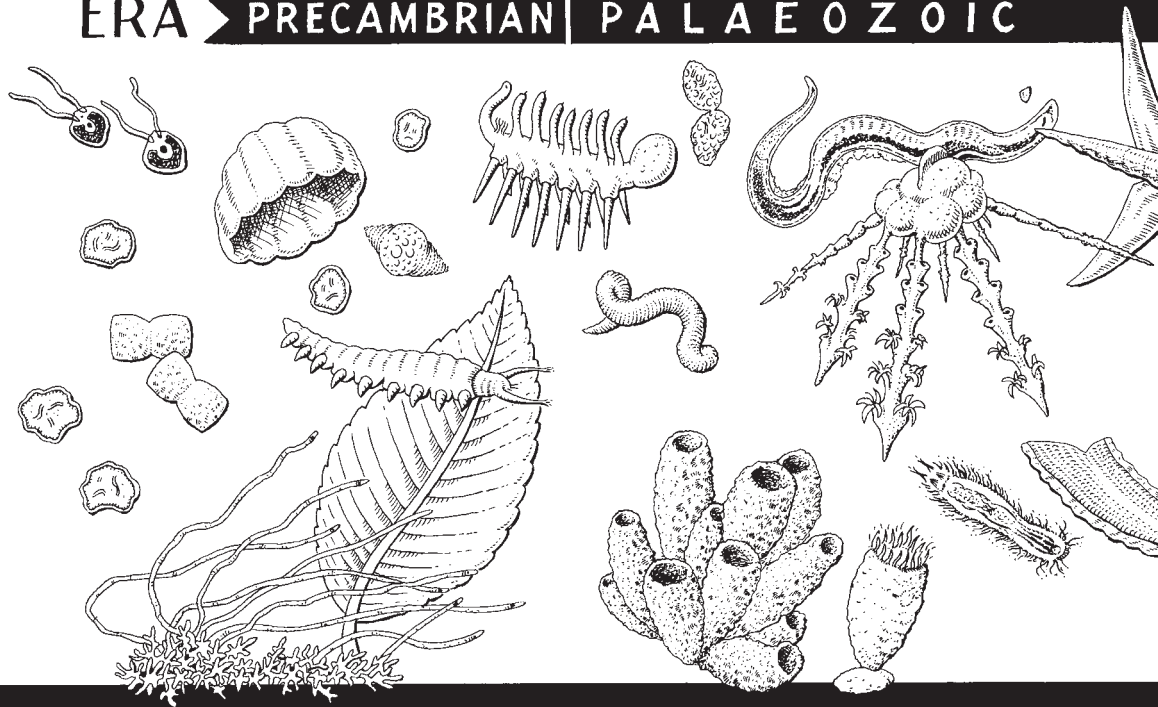
ORDOVICIAN

SILURIAN

ERA

PRECAMBRIAN

PALAEOZOIC





408

360

286

245

SILURIAN | DEVONIAN | CARBONIFEROUS | PERMIAN

PALAEOZOIC





245

208

144

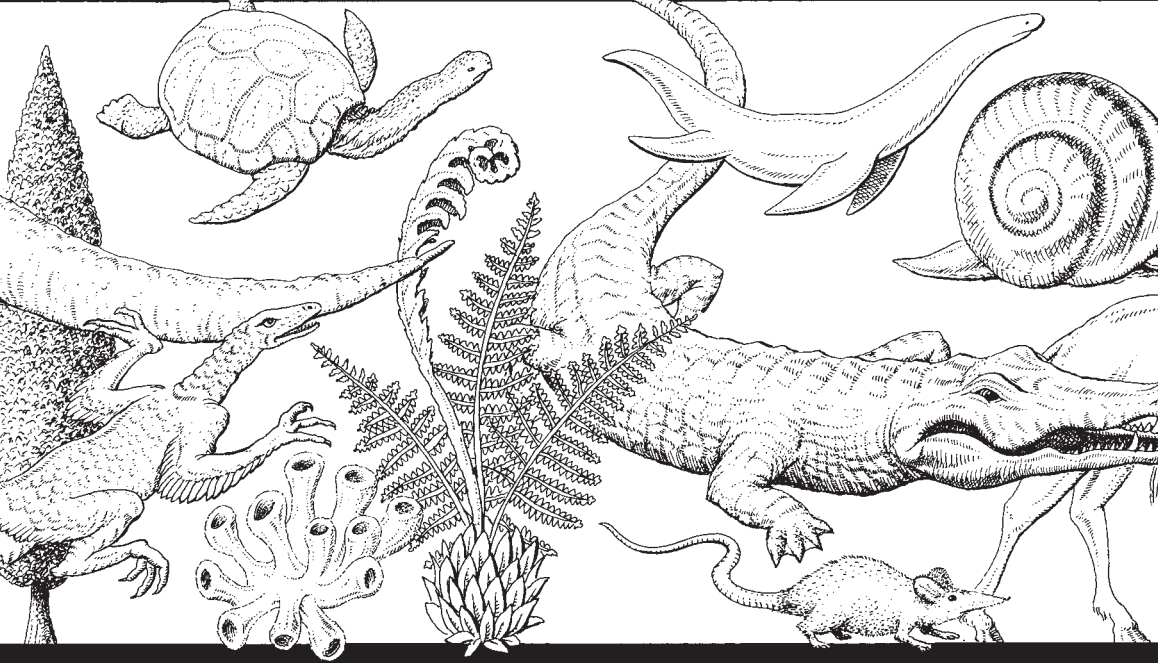


TRIASSIC

JURASSIC

CRE

M E S O Z O I C



INLEIDING

Welkom. En mijn gelukwensen. Ik ben heel blij dat het je is gelukt. Het was niet gemakkelijk om hier te komen. Eigenlijk denk ik dat het nog moeilijker was dan je beseft.

Om te beginnen moesten zich voor jouw bestaan biljoenen rondzwervende 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 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 niet eens dat je er bent. Ze weten niet eens 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 uiteenneemt, het ene atoom na het andere, je een hoop fijne atoomstofjes krijgt 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, allesoverkoepelende impuls: jou jou laten zijn.

Het slechte nieuws is dat atomen wispelturig zijn en dat de duur van hun toewijding kortstondig is – jazeke, kortstondig. Zelfs een langdurig mensenleven komt alles bij elkaar neer op zo'n 700 000 uur. En als die bescheiden mijlpaal voorbijschiet, of op een ander moment niet ver daarvandaan, 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.

Maar je mag 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 genereus en gelijkgezind samenkomen om levende wezens te vormen, precies dezelfde atomen zijn die elders weigeren dat 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 wat 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.

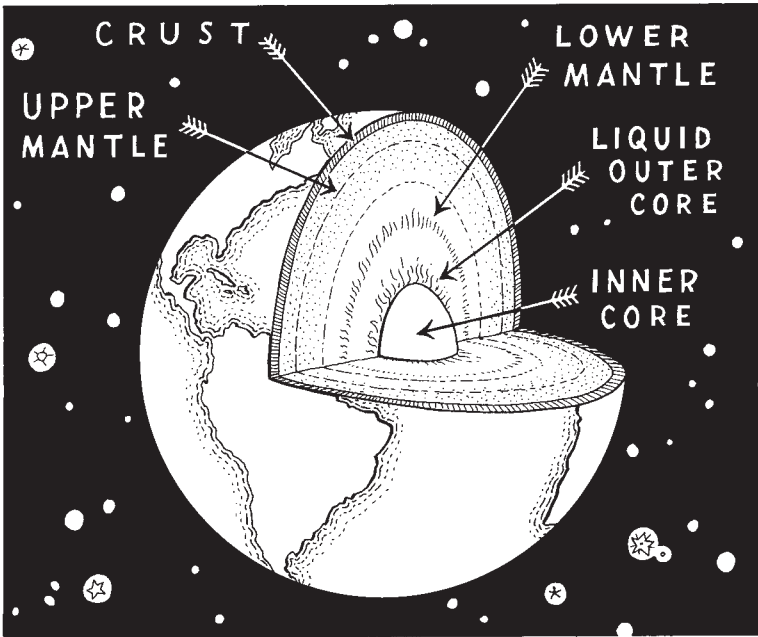
Zonder atomen zou er geen water of lucht of gesteente zijn, geen sterren en planeten, geen verre gaswolken of wervelende nevels of al die andere dingen die het universum zo materieel maken. Atomen zijn zo alomtegenwoordig en noodzakelijk dat we er gemakkelijk aan voorbijgaan dat ze feitelijk helemaal 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 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 eenentwintigste eeuw te leven en slim genoeg te zijn om je daarvan bewust te zijn, 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 – misschien wel 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 tussen de 1 en

4 miljoen jaar, dus als je miljarden jaren wilt voortbestaan, moet je even grillig 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 gemakkelijker 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 was afgeweken 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 18 meter te duiken voor een heerlijk maaltje 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 op de basisschool als leerboek had. Het betrof 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 vlakkeren 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 in een leergieriger trant 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 wat zich duizenden kilometers onder ons bevond en wat 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. 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 midden 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 drijfveer 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 inmiddels dat er een verheugende overvloed is aan wetenschappelijke auteurs die zeer helder en spannend proza schrijven – Timothy Ferris, Richard Fortey en Tim Flannery zijn 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 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 – toen ik allang volwassen was – bevond ik me op een lange vlucht boven de Grote Oceaan en staarde 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 zoutgehalte van de wereldzeeën iets was waarover ik me zorgen moest maken of niet. (Het verheugt me je 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 protonen of eiwitten waren, kon geen quark van een quasar onderscheiden, begreep niet hoe geologen naar een rotslaag in de wand van een ravijn

konden kijken om je vervolgens 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 hoeveel 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?

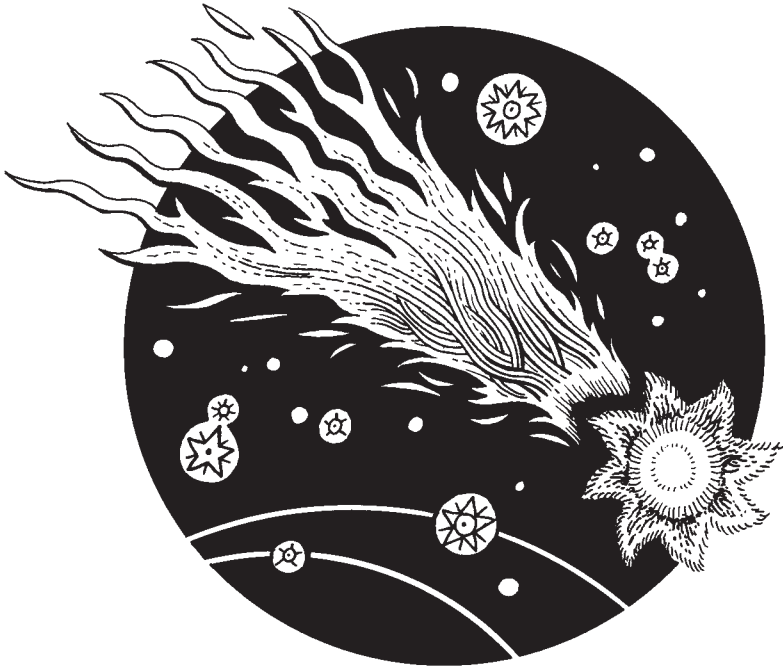
Hoe weten ze wat er zich in een atoom afspeelt? En dan nog de vraag – misschien wel de belangrijkste: hoe kan het dat wetenschappers vaak van alles lijken te weten, maar nog steeds geen aardbeving kunnen voorspellen of ons zelfs maar kunnen vertellen of we een paraplu moeten meenemen naar de races van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

Dus besloot ik een deel van mijn leven – al met al bijna vijf 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 onkundige 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, je 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 bestrijken en veel minder dan 700 000 uur om het in te doen, dus laten we beginnen.

DEEL I

VERDWAALD IN DE KOSMOS





HOE BOUW JE EEN HEELAL

Ook al doe je nog zo je best, je zult nooit inzien 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 10 000 000 000 000 000 000 000 van kan bevatten. We kunnen in elk geval zeggen dat ze kleiner dan microscopisch klein zijn.¹

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.² 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 wilt bouwen, heb je aanvullende materialen nodig. In feite moet je dan alles wat er is verzamelen – tot het laatste stofje en elementaire deeltje tussen hier en de uiterste grens van de schepping – en dat in een punt persen die zo oneindig compact is dat deze in het geheel geen dimensies meer heeft. Dat wordt een singulariteit genoemd.

In beide gevallen moet je je op een heuse grote knal voorbereiden. Uiteraard wil je een veilige plek 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 om je 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 de singulariteit 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, 10 miljard graden, genoeg om de nucleaire reacties te starten die de lichtere elementen scheppen; voornamelijk waterstof en helium, met een tikeltje (ongeveer één atoom op de 100 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 het is nog schitterend ook. En dat alles gebeurde in de tijd die nodig is om een boterham klaar te maken.

Tot vrij recent waren kosmologen het nog oneens over de vraag of dat moment van het ontstaan 10 miljard jaar geleden was of het dubbele daarvan of ergens daartussenin. Maar in 2012 werd op basis van gegevens afkomstig van een NASA-satelliet die de ronduit nerdy naam Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) droeg, met een geruststellende precisie vastgesteld dat de leeftijd van het heelal 13,77 miljard jaar is, met een onzekerheidsmarge van slechts 0,4 procent.³

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 1920 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 radioastronomen 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 ongericht. 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' noemden, maar wat gewoonlijk als vogelpoep bekendstaat. Wat ze ook probeerden, het werkte niet.⁴

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 het artikel van Gamov gelezen.⁵

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.⁶ Ze 'zagen' de eerste fotonen, het oudste licht in het heelal, hoewel tijd en afstand deze in microgolven hadden omgezet, precies zoals Gamov had voorspeld. In zijn boek *The Inflationary Universe* komt Alan Guth met een analogie die het gemakkelijker maakt om deze vondsten in het juiste licht te plaatsen. Als je het in de diepte van het heelal kijkt voorstelt als het omlaag kijken vanaf de honderdste verdieping van het Empire State Building (waarbij de honderdste verdieping het heden 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