

Inhoud

Dankbetuiging	9
1. Veel drukte om niets	11
2. Hoe leeg is een atoom?	34
3. Ruimte	56
4. Golven in wat?	70
5. Meereizen op een lichtbundel	83
6. De prijs van vrije ruimte	93
7. De oneindige zee	110
8. Het Higgsvacuüm	134
9. De nieuwe leegte	152
Noten	173
Verder lezen	174
Index	176

Dankbetuiging

Ik ben mijn redacteur Latha Menon dankbaar dat ze me heeft gestimuleerd om niets te onderzoeken en over niets te schrijven. Ian Aitchison, Ben Morison en Ken Peach dank ik voor hun opmerkingen, die me hebben geholpen dit iets tot stand te brengen.

1. Veel drukte om niets

De meesten van ons zijn ergens in hun jeugd wel eens getroffen door de vraag ‘Waar is alles uit ontstaan?’ Soms vragen we ons ook af waar ons bewuste zelf zich ophield voordat we ter wereld kwamen. Weet jij nog wat je vroegste herinnering was? Toen ik voor het eerst naar school ging, had ik duidelijke herinneringen aan de twee of drie jaar daarvoor, met name aan zomervakanties aan zee. Toen ik me nog eerdere gebeurtenissen voor de geest probeerde te halen werden de beelden echter steeds vager, tot er niets meer overbleef. Men legde me uit dat dit kwam doordat ik nog maar vijf jaar daarvoor was geboren, in 1945. Ondertussen hadden mijn ouders het over een oorlog, en over dingen die hun voor de oorlog waren overkomen, maar het zei me allemaal niets. De mij bekende wereld had toen nog niet bestaan en leek bij mijn geboorte te zijn geschapen, bevolkt met kant-en-klare ouders en andere volwassenen. Hoe konden zij al ‘vóór’ mijn bewuste universum hebben bestaan?

De geheimzinnige leegte die bestond uit alles tot aan 1945 bleef me achtervolgen, tot er in 1969 iets gebeurde dat mijn kijk op dit vraagstuk zou veranderen.

De Apollo 10 scheerde vlak boven het maanoppervlak, dat zich dankzij de wonderen van de communicatietechniek aan ons openbaarde als een troosteloze woestijn van rotsen en kiezelstenen. Deze grijze zandwoestijn strekte zich uit tot aan de maanhorizon, die zich kromde tegen een zwarte leegte waarin hier en daar sterren stonden, levenloze waterstofbollen die in licht waren uitgebarsten. Ineens dook in dit kale beeld een schitterend blauw juweel op met witte wolken en groene, begroeide werelddelen: voor de eerste keer zagen mensen de aarde opkomen. Het heelal kent ten minste één plek waar leven is, verzamelingen van enorme aantallen atomen die zo geordend zijn geraakt dat ze zich van zichzelf bewust zijn en gefascineerd het heelal in kunnen turen.

Hoe zou het zijn als er geen intelligent leven bestond? In hoeverre zou dit alles bestaan als er geen leven was dat er weet van had? Tien miljard jaar geleden zou het er zo kunnen hebben uitgezien: een levenloze leegte met her en der plasma-wolken en kale brokken gesteente die in de uitgestrektheid van de ruimte rondcirkelen. Hoewel dit tijdperk van 'voor-bewustzijn' geen leven bevatte, en een soort grote uitbreiding moet zijn geweest van mijn egocentrische pre-1945 universum, waarin de dansmuziek van de zwaartekracht bleef klinken zonder dat er iemand was om het op te merken, bestaan wij nu uit dezelfde atomen die toen al bestonden. Ooit inerte, complexe combinaties van deze atomen zijn geordend geraakt tot iets wat we bewustzijn noemen en zijn in staat om licht te ontvangen van ver weg in het heelal, licht dat in die vroegere, eerdere levenloze tijden aan zijn reis begon. Wij in ons 'nu' kunnen getuigen van dat eerdere levenloze tijdperk, wat het nadien toch nog een zeker werkelijkheidsgehalte geeft. Wij zijn niet uit niets geschapen, maar uit een oorspronkelijke 'oer-materie': miljarden jaren geleden gevormde atomen die zich voor korte tijd hebben gegroepeerd tot verzamelingen die denken dat zij ons zijn.

Dit leidde tot mijn laatste vraag: stel nou dat er geen leven was, geen aarde, geen planeten, zon of sterren, geen atomen die in potentie opnieuw kunnen worden gerangschikt tot toekomstige ietsen; stel nou dat er slechts leegte was? Na alles uit mijn mentale voorstelling van het heelal te hebben verwijderd, probeerde ik me het niets dat overbleef voor te stellen.

Toen werd me duidelijk wat filosofen al sinds eeuwen weten: over de leegte nadenken valt niet mee. Terwijl ik me als onnozel kind had afgevraagd waar het heelal zich voor mijn geboorte had bevonden, probeerde ik me nu voor te stellen wat er zou zijn als ik helemaal niet was geboren. 'Wij zijn de gelukkigen, want wij zullen sterven', aangezien DNA in een oneindig aantal mogelijke vormen kan voorkomen die, op enkele miljarden gevallen na, nooit in bewustzijn

zullen uitbarsten. Wat is het universum voor degenen die nooit geboren zullen worden of degenen die al dood zijn? Het is zo moeilijk te aanvaarden dat bewustzijn zomaar kan verdwijnen als de zuurstofpomp de hersenen niet langer van energie voorziet, dat alle culturen mythen hebben gecreëerd rond hun overledenen; maar wat betekent bewustzijn voor de DNA-combinaties die nooit uit de startblokken zijn gekomen en dat ook nooit zullen doen?

Het is net zo moeilijk te begrijpen hoe bewustzijn ontstaat en afsterft als om te begrijpen hoe iets, het spul waaruit het heelal bestaat, uit niets losbarstte. Was er een schepping of was er altijd al iets? Zou er eigenlijk wel niets kunnen zijn als er niet iemand was om te weten dat er niets was? Hoe harder ik mijn best deed deze raadsels te doorgronden, des te sterker had ik het idee dat ik me op het randje van echte verlichting dan wel waanzin bevond. Jaren later, na een leven als wetenschapper die het heelal probeerde te doorgronden, ben ik naar dit soort vragen teruggekeerd en ben ik op weg gegaan om mogelijke antwoorden te vinden. Het resultaat is dit boekje. Ik voel me gevleid door het besef dat ik me, als steller van dit soort vragen, in goed gezelschap bevind, aangezien het vragen betreft die in welke vorm dan ook door de eeuwen heen door een aantal van de grootste filosofen zijn gesteld. Bovendien is een eensluidend antwoord nog altijd niet gevonden. Op diverse momenten in de tijd veranderde, al naargelang de ene filosofie de andere overheerste, ook de gangbare mening. Kan er een vacuüm bestaan, een toestand van niets? Net als bij vragen over het bestaan van God, lijkt het erop dat de antwoorden worden bepaald door wat je met dat niets bedoelt.

De oude Griekse filosofen die deze vraagstukken met de kracht van de logica te lijf gingen, kwamen tot onderling strijdige oordelen. Aristoteles stelde dat een lege plek niet kon bestaan. Dit werd zelfs tot een principe verheven, namelijk dat 'de natuur een vacuüm verafschuwt'; wat dit betekent en

waarom er tweeduizend jaar lang geloof aan werd gehecht is een van de eerste vragen die ik aan de orde zal stellen. We zullen in kort bestek zien dat het duurde tot zeventiende eeuw, toen de experimentele methode opkwam, voordat Galileo's leerlingen aantoonde dat het geloof in de afkeer van een vacuüm was gebaseerd op een onjuiste interpretatie van verschijnselen; de ogenschijnlijke afkeer was het resultaat van de 10 ton atmosfeer die op elke vierkante meter drukt van alles wat zich op de grond bevindt, en zodoende lucht perst in elke aanwezige opening.

Zoals we zullen zien is het mogelijk om de lucht uit vaten te verwijderen en een vacuüm te creëren. Aristoteles had het mis. Althans, dat is de conclusie als er alleen maar lucht is, zodat met het verwijderen van de lucht ook alles is verwijderd. Naarmate de wetenschap vorderde en we het bereik van onze zintuigen met steeds verfijndere instrumenten uitbreidden, is duidelijk geworden dat er nog veel meer moet worden verwijderd dan alleen lucht om een echte leegte over te kunnen houden. Volgens de huidige wetenschap zou het wel eens principieel onmogelijk kunnen zijn om een volkomen leegte te creëren, dus misschien had Aristoteles het toch niet bij het verkeerde eind. Desondanks hanteren moderne wetenschappers vrolijk het concept van een vacuüm, aangezien er binnen de moderne natuurkunde een stroming bestaat die zich volledig richt op het trachten te doorgronden van de aard van het vacuüm, van tijd en ruimte in hun verschillende dimensies.

De vraag die ik mezelf in al mijn onschuld stelde, is des te raadselachtiger als je bedenkt dat we tegenwoordig weten wat niemand toen wist: het heelal dijt uit en doet dat al zo'n veertien miljard jaar, sinds de oerknal. Aangezien noch het zonnestelsel, noch de aarde, noch de atomen waaruit wij bestaan uitdijen, is het algemene idee dat het 'de ruimte zelf' is die groeit. De vraag 'waarin dijt hij dan uit?' even buiten beschouwing latend, hebben we nog een uitbreiding op mijn oorspronkelijke vraag: als ik alles heb verwijderd,

zet de ruimte dan nog steeds uit? Dit roept op zijn beurt de vraag op waar ruimte door wordt gedefinieerd als je alles verwijdert. Bestaat ruimte onafhankelijk van dingen, dat wil zeggen, als ik in gedachten al die planeten, sterren en verschillende stukken materie zou hebben verwijderd, zou de ruimte dan nog bestaan, of zou hij na verwijdering van de materie zelf ook verdwenen zijn? Laten we onze zoektocht daarom beginnen door te kijken welke inzichten knappere koppen uit het verleden ons te bieden hebben als we vragen proberen te beantwoorden zoals: Kunnen we de ruimte van alles ontdoen en zo ja, wat zou daarvan het resultaat zijn? Waarom voltrok de Oerknal zich niet eerder? Waar was God op de dag voor de schepping mee bezig? Of was er altijd al iets dat uiteindelijk in ons veranderde?

Vroege ideeën over het niet-iets

De paradox van schepping vanuit de leegte, van zijn en niet-zijn, heeft alle ons bekende beschavingen hoofdbrekens bezorgd. Al in 1700 v.C. stelt de scheppingshymne uit de Rig Veda:

Er was toen niet-bestaan noch bestaan.

Er was noch het rijk van de ruimte noch de hemel die verderop ligt.

Wat roerde zich? Waar?

Over zulke vragen werd door de filosofen van het oude Griekenland gedebatteerd. Rond 600 v.C. ontkende Thales het bestaan van niet-iets: voor Thales kan iets niet uit niet-iets ontstaan en kunnen dingen ook niet in niet-iets verdwijnen. Dit principe was volgens hem van toepassing op het hele universum: het universum kan niet uit niet-iets zijn ontstaan.

Het concept van niet-iets werd met de wetten van de logica geconfronteerd, waarbij Thales de vraag stelde: wordt niets iets door erover na te denken? Het antwoord, volgens deze

Griekse logicus, is dat er *alleen* niets kan zijn als er niemand is om erover na te denken. Mijn vraag of er wel van niets sprake kan zijn als er niemand is om te weten dat er niets is, was kennelijk al drieduizend jaar eerder bevestigend beantwoord, al lijkt het me eerder een axiomatische bewering te zijn geweest dan een uitspraak die gestoeld is op bewijs. Mijn zoektocht ging verder, maar het leek erop dat na Thales iedereen het niets definieerde als een afwezigheid van iets.

Na met niet-iets te hebben afgerekend verlegde Thales zijn aandacht naar de aard van dingen. Hij wist met succes de zonsverduistering op 28 mei 585 v.C. te voorspellen, wat een opmerkelijke prestatie en een bewijs van zijn kunnen was. Geen wonder dat zijn ideeën zo hoog werden aangeslagen. Hij betoogde dat als dingen niet uit niet-iets kunnen ontstaan, er een of andere alles doordringende essentie moet bestaan van waaruit alle dingen zich hebben gematerialiseerd. De vraag 'Waar is alles uit ontstaan?' heeft tot een vervolgvraag geleid: stel dat we uit een deel van de ruimte alles verwijderden, zou dat wat overblijft dan het oorspronkelijke 'niet-iets' zijn?

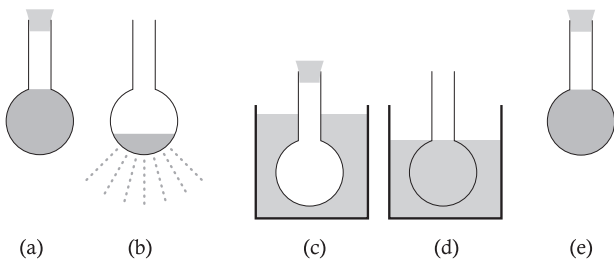
Thales kwam ook met een eigen oplossing van dit raadsel: zijn hoofdverdachte was water. Ijs, stoom en vloeistof zijn drie manifestaties van water, en dus veronderstelde hij dat water een oneindig aantal andere vormen kan aannemen door zich samen te ballen tot rotsen en wat dies meer zij. Aangezien waterplassen ogenschijnlijk verdwenen, om later als regen uit de lucht te komen vallen, kwam het idee van verdamping op, en daarmee de vaststelling van de cyclus die water doorloopt. Voor Thales is ruimte zo leeg als zij maar kan zijn als alle erin aanwezige materie is veranderd in haar oervorm: vloeibaar water zoals de oceaan. Water bevat bijgevolg iedere mogelijke vorm van materie. Drieduizend jaar later is dit idee achterhaald, maar moderne opvattingen van het vacuüm houden de conceptuele naamgeving in stand door te veronderstellen dat het een oneindig diepe 'zee' van elementaire deeltjes bevat (zie hoofdstuk 7).

Na 78 jaar van bewustzijn verruilde Thales in 548 v.C. het aardse bestaan voor de eeuwige leegte, maar het idee dat er een alomtegenwoordige oorspronkelijke essentie of oermaterie bestaat, leefde voort. De aard van de oermaterie stond echter ter discussie. Aan de ene kant hield Heraclitus staande dat het om vuur ging. Waar komt dit vuur dan vandaan? Het antwoord: het is eeuwigdurend en zou als zodanig kunnen worden vereenzelvigd met het concept van een godheid, een schepper van de wereld. Anaximenes daarentegen betoogde dat het lucht betrof. Lucht kan worden voorgesteld als iets oneindig uitgestreks, in tegenstelling tot water, waarbij juist zijn alomtegenwoordigheid het tot de voorkeurskandidaat maakt voor de universele bron van alle materie.

In het midden van de vijfde eeuw v.C. stond Empedocles voor de vraag of lucht een substantie was of lege ruimte. In wat een vroeg voorbeeld van experimenteel onderzoek was, werd een 'hydra' genoemd apparaat gebruikt – een glazen buis met aan één kant een opening en aan de andere kant een bol met gaten waar water door weg kan lopen zolang het open uiteinde geopend blijft. Als je met je vinger de opening dicht houdt, loopt er geen water uit. Als je de hydra laat leeglopen en vervolgens onderdompelt, zal water naar binnen stromen en de bol opnieuw vullen zolang het open uiteinde open blijft. Als het uiteinde daarentegen door je vinger wordt afgesloten zal er geen water binnenstromen en ook geen lucht ontsnappen.

Dit toonde aan dat lucht en water in dezelfde ruimte naast elkaar bestaan; er kan geen water binnenkomen voordat de lucht uittreedt; lucht is een substantie, en geen lege ruimte. Het zou nog tot in de zeventiende eeuw duren voordat Torricelli met een verklaring kwam voor deze gang van zaken.

Empedocles breidde het concept van oermaterie uit naar vier elementen: lucht, water, vuur en aarde. Hij introduceerde ook primitieve ideeën over krachten: voor hem waren dat liefde en tweedracht, voorlopers van aantrekking en afstoting. Hij was beslist de eerste die onderscheid maakte tussen



1. (a) Een fles met gaten in de grote bol is gevuld met water. Als de buis aan de bovenzijde gesloten is, zal water in de bol blijven staan, maar als de buis wordt geopend, (b), zal het water uit de gaten naar buiten lekken. (c) De lege fles wordt met gesloten buis in een waterbak gedompeld; er stroomt geen water de bol in. (d) Open de buis en water stroomt door de gaten de bol binnen. (e) Sluit de buis weer af en een met water gevulde bol kan uit de bak worden getild zonder dat er ook maar een beetje vloeistof uit de bol lekt.

materie en krachten, maar hij bleef bij zijn mening dat zoiets als lege ruimte niet kan bestaan.

Veel vormen van materie zijn korrelig van aard. Als bollen op elkaar worden gestapeld blijven er tussenruimtes vrij. Om de mogelijkheid van een leegte in de op die manier gecreëerde 'lege' ruimte uit te sluiten introduceerde Empedocles de ether, lichter dan lucht, die die ruimtes, en zelfs alle ruimte, vult. Ether dringt overal binnen en voorkomt dat er een vacuüm ontstaat. Hij stelde zich zelfs voor dat deze alomtegenwoordige ether in staat was om invloed van het ene lichaam op het andere over te brengen. Vanuit ons moderne denken bekeken heeft dit veel weg van een zwaartekrachtveld.

Ook Anaxagoras ontkende de mogelijkheid van lege ruimte en het scheppen van iets uit niets. Voor hem was schepping orde die uit chaos ontstaat, in plaats van een stoffelijk universum dat uit het niets opduikt. Orde uit chaos laat toe dat dingen kunnen evolueren en veranderen, zoals ons voedsel in ons verandert. Deze bestendigheid van basiselementen, terwijl hun overkoepelende structuur verandert, leidde tot

het idee van zaden en de geboorte van het atomisme. Voor Anaxagoras bestond er geen kleinste atoom, geen grens aan de deelbaarheid van de materie, en dus ook geen noodzaak je het hoofd te breken over de ruimtes tussen elkaar rakende bollen, geen behoefte aan een gaten vullende ether.

Epicurus (341-270 v.C.) zette, samen met Leucippus en Democritus, de ontkenning van de mogelijkheid dat iets uit niets kan ontstaan voort. Het drietal wordt beschouwd als de grondleggers van het idee van atomen: kleine fundamentele, ondeelbare zaden die alle materialen gemeen hebben. Hier wordt het idee geboren dat er een leegte kan zijn, een lege ruimte waar atomen zich doorheen bewegen. De redenering was dat als er zich op een bepaald punt al iets bevindt, een atoom zich daar niet kan nestelen; wil beweging mogelijk zijn, dan moet er lege ruimte zijn die atomen binnen kunnen gaan. Ze stelden zich zelfs een oneindig verlaten universum voor dat gevuld was met bewegende atomen die te klein waren om individueel te worden waargenomen, maar samenklonterden tot zichtbare, macroscopische vormen. Atomen zijn in beweging, maar hun geheel is iets wazigs, in ogenschijnlijke rust. Het beeld is dat van een mierenhoop; uit de verte gezien is het een onbeweeglijke heuvel, maar van dichtbij bekeken zou deze blijken te bestaan uit miljoenen nietige individuen in kolkende beweging.

Hoewel de ideeën van de atomisten dichter bij ons moderne beeld van materie liggen, waren het Aristoteles' antagonistische ideeën die tweeduizend jaar lang de boventoon voerden. Voor Aristoteles zou een leegte uiterst homogeen en symmetrisch moeten zijn, iets waaraan geen voor en achter, links en rechts of onder en boven te onderscheiden zouden zijn. Dit idee was ook naar voren gekomen in de scheppingshymne van de Rig Veda, met daarin de overpeinzing:

Was er onder?

Was er boven?

Binnen een dergelijke filosofie kan een object niet vallen of bewegen, maar kan het slechts in een rusttoestand verkeren, een idee dat uiteindelijk een van de fundamenteën zou worden onder Newtons mechanica. In de ogen van Aristoteles echter ontkenden dergelijke eigenschappen het bestaan van een niets en hij bracht de logische argumenten voor de afwezigheid van een leegte terug tot hun helderste vorm. Als lege ruimte iets is, en je in deze lege ruimte een lichaam plaatst, zou je twee 'ietsen' hebben die zich tegelijkertijd op dezelfde plaats bevinden. Als dat mogelijk was, zou dat zich laten generaliseren naar toestaan dat elk iets zich op dezelfde plek kan bevinden als elk ander iets, wat nonsens is. Voor Aristoteles leek de logica daarom te vereisen dat lege ruimte niet iets kan zijn, en dus non-existent is. Hij definieerde de leegte als de plek waar zich geen lichaam bevindt, en aangezien de basiselementen van dingen eeuwig bestaan, kan er geen plek zijn die volkomen leeg is.

Alles bij elkaar ontkende de Aristotelische logica het bestaan van de leegte en leidde hij tot de algemeen aanvaarde overtuiging dat de natuur een vacuüm verafschuwt. Dit werd als vanzelfsprekend beschouwd, maar was onjuist, zoals we hieronder zullen zien.

Vanwaar die afschuw?

Het aforisme dat de natuur een vacuüm verafschuwt, was tweeduizend jaar lang, tot ver in de Middeleeuwen, algemeen aanvaard, omdat het de simpelste, ogenschijnlijk voor de hand liggende verklaring was voor allerlei alledaagse verschijnselen. Probeer maar eens de lucht uit een rietje te zuigen: aan het andere uiteinde stroomt de lucht net zo hard binnen; het is alsof je de hele kamer leeg probeert te zuigen. Sluit met je vinger één kant af en zuig aan het andere uiteinde de lucht eruit: er ontstaat geen vacuüm, aangezien het rietje zal dichtklappen. Of steek één kant van het rietje in een glas sap en zuig: je zult uiteindelijk het sap binnenkrijgen. In plaats