

David Bercovici

*Het begin van alles in
tweehonderd pagina's
(min of meer)*

Vertaald door Maarten van der Werf

2017 Prometheus Amsterdam

Oorspronkelijke titel *The Origins of Everything in 100 Pages (More or Less)*

© 2016 David Bercovici

© 2017 Nederlandse vertaling Uitgeverij Prometheus en Maarten van der Werf

Omslagontwerp DPS Design & Prepress Studio

Illustratie omslag Yale University Press

Zetwerk Elgraphic bv, Vlaardingen

www.uitgeverijprometheus.nl

ISBN 978 90 446 3296 5

Het universum en de sterrenstelsels

De tijd begint met een onvoorstelbaar reusachtige explosie – altijd een goede manier om een verhaal mee te beginnen. Maar dat dat eerste ogenblik ook het begin betekende van het universum en de aarde was tot betrekkelijk recent onbekend: tot in de twintigste eeuw. De eerste zin van de joods-christelijke Bijbel luidt: ‘In den beginne schiep God hemel en aarde’, één enkele gebeurtenis die volgens de datering van de zeventiende-eeuwse Ierse bisschop James Ussher op 23 oktober van het jaar 4004 voor Christus zou hebben plaatsgevonden.

Niet zo heel lang vóór Usshers datering, tijdens de Renaissance, waren er echter al verschillende vooraanstaande filosofen die het radicale standpunt innamen dat de tijd helemaal geen begin had. Een van de beroemdste van hen, een roem overigens die vooral voortkwam uit zijn martelaarschap, was Giordano Bruno, een zestiende-eeuwse Italiaanse dominicaner monnik en geleerde. Bruno hing de toen nog controversiële theorie van Copernicus aan dat niet de aarde het centrum van het universum was, maar dat de aarde draaide om de zon. Hij ging zelfs nog verder en stelde dat de zon zelf slechts één van vele andere sterren aan de nachtelijke hemel was, elk met hun eigen planeten. Belangrijker was echter (in elk geval voor ons verhaal), dat Bruno geloofde dat het universum onveranderlijk was en oneindig was in tijd en ruimte. Hoewel Bruno niet de eerste Europese geleerde was met deze visie, verklaarde de katholieke kerk die tot ketterij (tezamen met een aantal noties die in religieuze

zin onaanvaardbaar waren, bijvoorbeeld over de goddelijkheid van Christus en transsubstantiatie). Op een gegeven moment werd hij in Venetië gearresteerd, veroordeeld, verbannen naar Rome en daar opnieuw veroordeeld. Bruno was een sarcastisch en heethoofdig mens en weigerde zijn geschriften te verlooche- nen, tenzij of de paus, of God zelf hem zou vertellen dat hij het bij het verkeerde eind had. Geen van beiden was daartoe bereid en Bruno vond op Aswoensdag 1600 de dood op de brandstapel op de Campo de' Fiori in Rome, waar vandaag de dag een stand- beeld van hem streng toeziet op de vrolijke toeristen in de vele cafés op het plein.

Gelukkig worden wetenschappers tegenwoordig zelden meer levend verbrand om hun ideeën (althans niet in letterlijke zin). Toen ik een keer in Rome was, stond ik eens met een collega onder het indrukwekkende beeld van Bruno, en we vroegen ons af of wij afstand zouden nemen van onze wetenschappelijke geschriften als ons de dood boven het hoofd hing. Galileo Galilei had dat 33 jaar na Bruno's rechtszaak wel gedaan en na een korte pauze – en, zo moet ik bekennen, een flinke lachbui – waren we het erover eens dat we hem daarin natuurlijk ogenblikkelijk zouden volgen. Behalve ons beider lafheid – en het idee te ster- ven voor papers die toch nooit iemand leest – hebben we echter ook het voordeel dat we op het verleden kunnen terugkijken en weten dat slechte wetenschap sterft met de wetenschappers, maar dat goede wetenschap voortleeft: als onze wetenscappelijke standpunten met ons sterven, dan was dat waarschijnlijk ook verdiend. Bruno gaf wél zijn leven voor wat hij geloofde en werd daarmee een van onze bekendste martelaars van de weten- schap. En uiteindelijk werden zijn ideeën herkend als getuigend van een opmerkelijk vooruitziende blik, en zeker het idee waar- bij de aarde slechts een van vele werelden was die om een van vele sterren draaiden in een uitgestrekt, oeroud universum.

Bruno's idee dat het universum oneindig is in tijd en ruimte is echter incorrect: er is wel een begin der tijden. Het eenvoudigste bewijs hiervoor is dat het 's nachts donker is. Als we in een oneindig oud en oneindig groot universum zouden leven, zou ieder stuk van de nachtelijke hemel wel een ster bevatten. Het licht van al die sterren zou dan meer dan voldoende tijd hebben gehad om bij ons te komen en het volledige hemelgewelf zou door sterrenlicht worden verlicht. Hoewel de Duitse wiskundige Johannes Kepler en de Engelse geleerde Thomas Digges (beiden tijdgenoten van Bruno) zich welbewust waren van deze paradox, is die genoemd naar de veel latere Duitse astronoom Heinrich Wilhelm Olbers, die rond 1800 leefde. De oplossing van deze paradox van Olbers werd gevonden door de eind negentiende-, begin twintigste-eeuwse Britse natuurkundige William Thomson ofwel Lord Kelvin, en werd al voorzien door de Amerikaanse schrijver Edgar Allan Poe: het universum moet ofwel oneindig zijn in tijd (waarbij licht uit verre sterren ons nog niet heeft bereikt), of eindig zijn in ruimte (waarbij niet elk deel van de hemel sterren bevat), of allebei. Dit is een van de eerste en belangrijkste aanwijzingen die hebben geleid tot de bigbanghypothese, want het impliceert dat het universum op een zeker moment is ontstaan en/of niet overal tegelijk kan zijn.

Aanvankelijk werd de Melkweg gezien als ons volledige, eindige en statische universum, maar in de jaren twintig van de vorige eeuw toonde de Amerikaanse astronoom Edwin Hubble door middel van telescoopobservaties aan dat er buiten onze Melkweg nog andere sterrenstelsels zijn. Hubble berekende de afstand tot die andere stelsels door middel van pulserende sterren, Cepheïden genaamd, waarvan de 'periodes' (de tijd tussen de pulsen) en gemiddelde lichtkracht (het totaal aan energie dat als licht vrijkomt) op een eenvoudige manier met elkaar in verband staan. Door deze eigenschap zijn het goede ijkpunten om

de afstand te berekenen: twee Cepheïden met dezelfde puls hebben ook dezelfde lichtkracht, dus als een van de twee minder sterk is dan de andere, staat hij verder weg. Het verschil in helderheid is eenvoudigweg het kwadraat van de afstand, en de Cepheïden verraden zo ook de afstand tot de sterrenstelsels waar ze deel van uitmaken. Hubble kwam er ook achter dat er een gemiddelde zogenoemde ‘roodverschuiving’ plaatsvindt naarmate de sterrenstelsels verder weg staan (van alle zichtbare lichtgolven heeft rood licht de langste golflengte en dus de laagste frequentie). Deze roodverschuiving bij lichtgolven is vergelijkbaar met de sirene van een ambulance, die lager wordt (een lagere frequentie, dus langere perioden en golflengtes heeft) als de sirene van je af beweegt. De roodverschuiving bij het licht van sterrenstelsels duidt er dus op dat hoe verder ze weg zijn, hoe sneller ze van ons afbewegen, wat betekent dat alle sterrenstelsels van elkaar afbewegen, naar buiten toe.

Al voor Hubbles observatie dat de sterrenstelsels over het algemeen gezien van elkaar af bewegen, stelden de Belgische astronoom Georges Lemaître en de Russische natuur- en wiskundige Alexander Friedmann onafhankelijk van elkaar dat het universum zich uitbreidde. Beiden gebruikten Einsteins relativiteitstheorie voor hun berekeningen, hoewel Einstein hun conclusies aanvankelijk niet overnam (later wel). Hubbles observaties vormden het bewijs dat hun ideeën over het expanderende universum ondersteunde.

Als het universum eindig is in tijd en ruimte, dan moeten de massa en de energie oorspronkelijk – dus als je de expansie achterwaarts afspeelt – binnen een veel kleiner volume zijn geconcentreerd en veel heter zijn geweest, in wat Lemaître een ‘kosmisch ei’ noemde. De aanvankelijke expansie van deze massa op het geboortemoment van het universum werd door Fred Hoyle, een astronoom verbonden aan Cambridge die het idee helemaal

niet zag zitten, de big bang genoemd, een benaming die laatdunkend was bedoeld. De naam bleef echter hangen, hoewel het woord 'bang' een explosie suggereert, wat niettegenstaande de eerste zin van dit hoofdstuk niet helemaal correct is. Een explosie omvat een schokgolf waarbij gas zich onder grote druk scheidt van een gas onder lage druk, terwijl bij de big bang alle massa en energie, en dus alle ruimte, in dit zeer kleine volume waren samengeballt – er was dus niets om in te expanderen. Naarmate het universum zich uitbreidt, schuift ook de rand van de ruimte op. Buiten deze grens is er geen licht, geen materie, geen energie en geen tijd – een concept dat nauwelijks te bevatten is.

Uiteindelijk, in de jaren zestig, ontdekten de Amerikanen Arno Penzias en Robert Wilson de kosmische achtergrondstraling, een 'ruis' die in het hele universum te 'horen' is. Daaruit bleek dat het diepe vacuüm van het universum niet steenkoud is – dus geen temperatuur en energie van nul heeft – maar vol zit met microgolven op een 'comfortabele' 3 kelvin (-270°C). Deze restwarmte bewijst dat het in het universum na de big bang warmer was.

De bigbangtheorie, of eigenlijk het aantoonbare feit dat het universum zich uitbreidt, maakt een eenvoudige datering van het universum mogelijk. Als we de tijd berekenen waarin het universum met de geschatte uitbreidingsnelheid (de zogenoemde Hubble-constante) vanuit een klein volume de huidige ruimte zou hebben bereikt, alsmede de temperatuur van 3 kelvin, zouden we uitkomen op een ouderdom van 14 miljard jaar (met een speling van een miljard minder of meer). Deze eenvoudige berekening wordt tamelijk goed ondersteund door de astronomische observatie van de oudste objecten in de ruimte, meestal kleine sterren die erg langzaam branden (en waar we in het volgende hoofdstuk dieper op ingaan). Die zijn overigens pas enkele honderden miljoenen jaren na de big bang ontstaan,

zodat een inschatting op deze grond wat aan de lage kant is. De huidige, meest nauwkeurige schatting van de ouderdom van het universum is 13,8 miljard jaar.

De bigbangtheorie is echter veel meer dan een beschrijving van het uitdijen van het universum van een zeer klein volume tot de huidige uitgestrektheid. De opeenvolging van gebeurtenissen vanaf dat eerste begin is bepalend voor de aard van de materie en de structuur van het universum. Kort gezegd: in de eerste, minneste fracties van een microseconde tot ongeveer een minuut na de big bang gebeurde er ontzettend veel. In het algemeen (voordat we in de details duiken), kunnen we ons het oorspronkelijke universum voorstellen als zo geconcentreerd en zo heet, dat het niet meer was dan een heel klein bolletje pure, immense energie. Naarmate het zich uitbreidde en afkoelde, ontstonden daaruit de verschillende aggregatietoestanden, energie en zelfs natuurkrachten, ongeveer zoals stoom eerst van gas condenseert tot water en dan bevriest tot vast ijs. Iedere stap resulteert in een nieuwe aggregatietoestand (gas, vloeistof of vaste stof), en wordt een faseovergang genoemd. Deze transities in de eerste ogenblikken van de schepping waren echter veel exotischer en begonnen vanuit een oerstaat die we nog volledig moeten doorgronden.

We denken dat op dat allereerste ogenblik, aan het begin van de big bang, de temperaturen, en dus de druk, zo hoog waren dat het universum (voor zover dat al bestond) slechts één vorm van een extreem soort energie bevatte in een onvoorstelbaar klein volume, veel kleiner dan een atoom of zelfs een subatomair deeltje. Deze toestand bestond gedurende de eerste 10^{-43} seconden. (Om te onthouden: 10^{-2} is hetzelfde als 0,01, dus bij 10^{-43} zitten er 42 nullen tussen de decimale komma en de 1.) Deze tijdsperiode wordt het Planck-tijdperk genoemd, naar Max Planck, de twintigste-eeuwse Duitse natuurkundige die algemeen bekendstaat

als de vader van de kwantummechanica. Tijdens dit tijdperk (hierbij opgemerkt dat kosmologen termen als tijdperk, era en tijdvak op een zo losse manier gebruiken dat geologen er gek van worden), waren alle fundamentele natuurkrachten feitelijk ook één kracht. Meer specifiek gesteld hebben krachten te maken met de uitwisseling van deeltjes: koelkastmagneetjes blijven aan je koelkast zitten door uitwisseling van deeltjes die we fotonen noemen en die tegelijkertijd elektromagnetische ‘dragerdeeltjes’ en lichtdeeltjes zijn. Andere krachten hebben andere dragerdeeltjes, maar als alle dragerdeeltjes in het Planck-tijdperk hetzelfde waren, moeten ook alle krachten hetzelfde zijn geweest. Dit concept van één enkele aanvankelijke kracht is de zogenoemde ‘geünificeerde veldentheorie’ of ‘veldtheorie van alles’, waar men binnen de theoretische natuurkunde al heel lang naar op zoek is. Op dit moment is een theorie over hoe de zwaartekracht (die ons op deze planeet houdt) samenhangt met de andere drie fundamentele natuurkrachten – elektromagnetisme (dat de kracht tussen elektrische ladingen regelt en ook magnetisme omvat), sterke en zwakke kernkrachten (die regelen hoe subatomaire deeltjes binnen atoomkernen blijven) – nog niet geformuleerd. Hele werkvelden binnen de natuurkunde, zoals de snaartheorie en de loop-kwantumzwaartekracht, zijn pogingen om deze harde noot te kraken. Het combineren van de drie andere natuurkrachten buiten de zwaartekracht heeft zowel in theoretisch als in praktisch opzicht meer succes gehad. Dit heet de grote geünificeerde theorie en valt binnen het Standaardmodel voor ‘bijna alles’, waarmee bedoeld wordt: alles behalve de zwaartekracht. De ontdekking van het Higgs-boson of Higgsdeeltje (genoemd naar de Britse natuurkundige Peter Higgs) was een baanbrekende stap in de bewijsvoering van het Standaardmodel en verklaart in feite waarom materie massa heeft. (‘Trage massa’, datgene waardoor sommige voorwerpen moeilijker te

verplaatsen zijn dan andere, is eigenlijk dat een overal aanwezig Higgs-veld aan deeltjes ‘trekt’.)

Maar ik dwaal af. Het werkelijke punt is dat we nog steeds maar weinig weten over de staat van het universum tijdens het Planck-tijdperk, noch hoe het universum daar is gekomen en wat er daarvoor was. Niettemin, aan het eind van het Planck-tijdperk was het dicht opeengepakte universum instabiel en begon de big bang.

De volgende 10^{-35} seconden van het universum kunnen werkelijk de ‘bang’ van de big bang worden genoemd, waarbij sprake was van enorm snelle expansie. Deze uiterst korte periode wordt het inflatoire tijdperk genoemd. Gedurende deze ‘inflatie’ zou het universum met de zoveelste macht van 10 (10^{79} of daaromtrent) in volume zijn uitgebreid, en hoewel het universum op dat moment nog niet zo erg groot was (zeg een paar meter), gebeurde dat in een tempo dat vele malen hoger lag dan de lichtsnelheid. Men denkt dat de expansie werd aangedreven door de energie die in één enkel krachtveld was opgeslagen, en die energie-uitbarsting zou de bron vormen van alle materie en energie in het hele bekende universum dat erop volgde.

De reden dat de snelle inflatie een integraal deel van de bigbangtheorie is geworden, is dat zonder die inflatie de kosmische achtergrondstraling, de eerder genoemde, overal aanwezige radiatoruis, niet goed te verklaren is. Aangezien de temperatuur van de lege ruimte in het universum ook na bijna 14 miljard jaar nog overal nagenoeg gelijk is, moeten de verschillende uiteinden van het universum lang genoeg en over een voldoende breedte met elkaar in contact zijn geweest om allemaal dezelfde temperatuur aan te kunnen nemen: als ze sinds het absolute begin niet in contact met elkaar zijn geweest, is het moeilijk te begrijpen waarom ze dezelfde temperatuur hebben. Door de snelle uitbreiding, waarbij zeer snel een klein, beperkt volume werd bereikt, konden

alle delen van het universum dezelfde temperatuur aannemen voordat ze in alle richtingen werden weggeslingerd.

Na de inflatie expandeerde de vrijgekomen energie in een lagere dichtheid, precies genoeg zodat materie kon condenseren. Volgens een van de weinige formules van Einstein die de meeste mensen wel kennen, $E=mc^2$, kan energie veranderen in massa: E is energie, m de omgezette massa en c de snelheid van het licht. Deze allereerste materie nam merendeels de vorm aan van een soep van subatomaire deeltjes die we quarks noemen. Quarks zijn de bouwstenen waaruit protonen en neutronen zijn opgebouwd, die op hun beurt weer de bouwstenen van atoomkernen vormen. Er was ook nog een grote hoeveelheid pure energie in de vorm van protonen, alsmede een groep deeltjes met veel minder massa die we benoemen met de overkoepelende term leptonen. Leptonen omvatten elektronen, zeer kleine negatief geladen deeltjes die om atoomkernen draaien en die de dragers zijn van de elektrische stroom in stroomdraad, alsook de bijna gewichtloze neutrale deeltjes genaamd neutrino's, die zich op dit exacte moment ongemerkt door ons lichaam bewegen. Over het algemeen worden leptonen deels gekenmerkt doordat ze samen geen atomen kunnen vormen.

Op dit punt in het verhaal waren de temperaturen aanvaardbaar nog te hoog om quarks zich samen te laten binden. Maar in de volgende 10^{-5} seconde gebeurde er veel meer. Er was materie en wat antimaterie wordt genoemd, in nagenoeg gelijke hoeveelheden. Om een voorbeeld te noemen: het tegenovergestelde van een elektron is een positron – anders gezegd: het is de versie in antimaterie – die dezelfde massa heeft, maar een tegengestelde elektrische lading. Materie en antimaterie vernietigen elkaar zodra ze met elkaar in contact komen, dus na een kort moment van co-existentie was dat ook wat er gebeurde. Bij deze vernietiging kwam meer energie vrij, maar er bleef een 'beetje' gewone