

GENESIS

Guido Tonelli

Genesis

Het grote verhaal van de oerknal tot nu

Vertaald door Hans van den Berg



2020
DE BEZIGE BIJ
AMSTERDAM

Copyright © 2019 Giangiacomo Feltrinelli Editore, Milaan
Copyright Nederlandse vertaling © 2020 Hans van den Berg
Vertaald in samenwerking met Patty Krone
Oorspronkelijke titel *Genesi. Il grande racconto delle origini*
Oorspronkelijke uitgever Giangiacomo Feltrinelli Editore,
Milaan

Omslagontwerp Moker Ontwerp
Foto auteur Adolfo Frediani
Vormgeving binnenwerk CeevanWee, Amsterdam
Druk Bariet Ten Brink, Meppel

ISBN 978 94 031 8410 4

NUR 320

debezigebij.nl

Aan de kleine Jacob

‘Poëzie hebben we nodig, wanhopig hard.’

Anonieme auteur van een muuropschrift in een steeg
in het centrum van Palermo, oktober 2018

‘Elk verdriet is te verdragen als je het maar in een verhaal
opneemt, of er een verhaal over vertelt.’

Isak Dinesen

‘Geworteld zijn is misschien de belangrijkste en meest
miskende behoefte van de menselijke ziel.’

Simone Weil

Inhoud

Proloog 13

Inleiding

HET GROTE VERHAAL VAN DE OORSPRONG 17

Oorsprongsmythen en de wetenschap 18

Een gecompliceerde taal 21

Een gevaarlijke reis 24

Twee wegen naar kennis 26

Laat elk vooroordeel varen, gij die hier binnengaat 29

In den beginne was het vacuüm 35

Een gigantisch uitdijend heelal 36

De oerknal 42

Een heelal dat uit het vacuüm ontstaat 46

Vacuüm of niets? 52

Vacuüm en chaos 58

Eerste dag

EEN ONSTUITBARE ADEMTOCHT PRODUCEERT

HET EERSTE WONDER 61

Een vreemd oerveld 62

Een onbeheersbare uitdijing 65

Het succes van de inflatietheorie 69

Op zoek naar de 'smoking gun' 74

Het mythische tijdperk van de Grote Unificatie 76

Tweede dag

- DE DELICATE WISSELWERKING MET EEN BOSON
VERANDERT ALLES, VOOR ALTIJD 81
De betovering van Narcissus 83
De schoonheid van verbroken symmetrieën 89
De ontdekking van het higgsboson 94
*Wie heeft de symmetrie tussen materie en antimaterie
verbroken?* 98
De diepste symmetrie 102
De versnellers van de toekomst 105

Derde dag

- DE GEBOORTE DER ONSTERFELIJKEN 111
De meest perfecte vloeistof 113
Een proton heb je voor altijd 116
Licht en toch onmisbaar 120
*De meest timide en vriendelijke deeltjes gaan er
als eerste vandoor* 122
Ze zullen het hart van de sterren vormen 125

Vierde dag

- EN TEN SLOTTE WAS ER LICHT 129
*Een wereld zonder licht, bevolkt door donkere
entiteiten* 131
Het uur van de materie slaat 137
Geheime, in de muur verborgen boodschappen 139
Een zeer gedetailleerd verhaal 142

Vijfde dag

- DE EERSTE STER ONTBRANDT 149
Daarboven zagen wij de sterren weer 151
Het epische tijdperk van de megasterren 155
Een ongelooflijk kosmisch vuurwerk 160
De fascinatie van zwarte sterren 164

De singulariteit van zwarte gaten 166
Een fusie die goud waard is 169

Zesde dag

CHAOS VERMOMT ZICH ALS ORDE 173
Spira mirabilis 174
Sterrenstelsels, clusters en botsingen 176
Het hart der duisternis van onze Melkweg 179
Maak de slapende draak niet wakker 182
De subtiele pijlen van Orion 188

Zevende dag

EEN GEWEMEL VAN COMPLEXE VORMEN 193
De zon en haar zwervers 196
Gelukkig heeft Theia ons verwoest 200
De wieg van de complexe levensvormen 204
Exoplaneten 210

Wat ons tot mens maakt 217
De constructie van het symbolische 218
In den beginne was de Thaumata 224
De macht van de verbeelding 227

Epiloog

HET BLOEDBAD VAN
MARIA-TENHEMELOPNEMING 233

Dankwoord 239

Proloog

‘Professor, hoe gaat het met u? Mag ik u iets vragen? Heb ik goed begrepen dat het nog steeds vacuüm is? Ik bedoel het hele heelal om ons heen? Inclusief Donald Trump en al die aandeelhouders van Fiat Chrysler waar ik helemaal gék van word? Dat zou fantastisch zijn. Geniaal! Ik heb altijd gedacht dat ik eigenlijk natuurkunde had moeten studeren en dat ik moet stoppen met al die onzin waar ik me al veertig jaar mee bezighoud.’

Sergio Marchionne, president-directeur van Fiat Chrysler, belt me vanuit de Verenigde Staten aan het eind van zijn razend drukke week: een paar dagen in Maranello, per helikopter naar Turijn, dan naar Detroit vliegen om er het weekend door te brengen. En dat week in week uit: weinig afwisseling, geen pauzes en geen tijd om te relaxen.

Alles begon eind juli 2016, toen ik werd uitgenodigd om in de Ferrarifabriek te komen spreken over de spectaculaire recente vorderingen in mijn vakgebied. Voor mij was het bovendien dé kans om eens met eigen ogen die juweeltjes van technologie te bekijken en te praten met de jonge technici en ingenieurs die de haast maniakale toewijding van de ambachtlieden van vroeger tijden aan de dag leggen. De ochtend vloog voorbij en toen we in het restaurant zaten waar Enzo Ferrari altijd lunchte, met overal om ons heen foto’s van de ‘patriarch’ en herinneringen aan zijn vele triomfen, kwam er, terwijl we over Formule 1 en elektrische Ferrari’s zaten te

praten, een volkomen onverwacht telefoontje binnen: Sergio Marchionne, die vraagt of ik even bij hem langs wil komen op zijn kantoor.

Ik loop de trap op naar de hoger gelegen verdiepingen, ervan overtuigd dat het om een beleefdheidsbezoekje gaat, maar ik ben nog niet gaan zitten of hij overvalt me met de minst voor de hand liggende vraag: ‘Gelooft u in God, professor?’

Het is me meteen duidelijk dat dit geen korte, formele ontmoeting zal worden. In het volgende uur praten we over het ontstaan van het heelal, bespreken we wat het vacuüm is en stellen we onszelf vragen over het ontstaan en het einde van de ruimtetijd. Marchionne steekt de ene na de andere sigaret op en vraagt bij alles om uitleg. In zijn ogen zie ik oprechte nieuwsgierigheid en verwondering. ‘Dit zijn de zaken die ik in mijn jonge jaren had willen bestuderen. Maar ik was nooit goed genoeg voor een wetenschappelijke studie. Daarom heb ik maar een master filosofie gedaan. En daarna heeft het leven mij een heel andere kant op gestuurd.’ En hij vertelt me over zijn bepaald niet gemakkelijke jeugd in Canada en de soms zeer toevallige samenloop van omstandigheden die hem tot hoofd van een van de belangrijkste bedrijven ter wereld heeft gemaakt.

Als de secretaresse ons erop attendeert dat de chauffeur zenuwachtig begint te worden omdat ik mijn terugvlucht dreig te missen, moeten we afscheid nemen. Maar eerst wil Marchionne nog dat ik een opdracht schrijf in mijn boek *La nascita imperfetta delle cose* (De onvolmaakte geboorte der dingen). Ik waarschuw hem dat ik hem zou overhoren om te zien of hij het gelezen had. Als ik na een paar weken het eerste telefoontje krijg, begrijp ik dat hij dat inderdaad heeft gedaan.

We blijven met elkaar in contact en zo komt het dat ik maanden later naar Modena afreis ter gelegenheid van de jaarlijks door Ferrari georganiseerde ontmoeting met de ma-

nagers van haar belangrijkste partners. Tijdens het diner gaat het ‘overhoren’ door en nu betrekken we ook de andere tafelenoten erbij. Zo bespreken we die avond zwarte gaten, Stephen Hawking en zwaartekrachtsgolven. Kort voordat het dessert wordt opgediend, verzoekt Marchionne om stilte en vraagt mij het woord te nemen: of ik iets wil vertellen over het ontstaan van het heelal en de ontdekking van het higgs-boson en maant me daarbij meedogenloos te zijn: ‘Spaar ons niet, professor. Ik wil dat deze domkoppen begrijpen welke dingen echt van belang zijn in deze wereld.’

Aan het eind van de avond neemt hij me bij de arm en zegt: ‘Over een paar jaar stop ik hier helemaal mee en ga ik natuurkunde studeren. U moet me beloven dat u een kort lijstje van niet al te gemakkelijke populairwetenschappelijke boeken voor mij opstelt over quantummechanica en elementaire deeltjes, zodat ik er meer van kan begrijpen.’

Ik weet dat de grote door de natuurkunde behandelde vragen in ieder van ons leven en dat die oorspronkelijke nieuwsgierigheid nog in de ziel van ieder van ons brandt, en ik beloof zo’n lijstje op te zullen sturen – maar ik kan een zekere scepsis in mijn blik niet verbergen. ‘Ik ga ze echt lezen, professor, geloof me.’ Geen van ons beiden kan op dat moment vermoeden hoe snel die plannen in duigen zouden vallen, want twee jaar later kwam Marchionne helaas veel te vroeg te overlijden.

Inleiding

HET GROTE VERHAAL VAN DE OORSPRONG

Ongeveer veertigduizend jaar geleden arriveerde de tweede golf van *Homo sapiens* uit Afrika in Europa. Veel gebieden waren daar toen allang bevolkt door neanderthalers, die in kleine groepen in holen en grotten woonden, grotten die ons vandaag de dag nog overduidelijke bewijzen leveren van het feit dat hun bewoners al over een complex symbolisch universum beschikten. Ze beschilderden de wanden van die grotten met symbolen en tekeningen van dieren, de doden werden in foetushouding begraven, en er zijn botten en grote, in rituele cirkels gerangschikte stalactieten gevonden: getuigenissen van een beschaving die naar alle waarschijnlijkheid een hoogontwikkelde taal bezat die wij helaas nooit zullen kennen.

Wel kunnen we ons voorstellen dat er in die grotten al een verhaal werd verteld over de oorsprong van de wereld: een magisch verhaal dat door de ouderen werd doorgegeven aan de kinderen. We zullen duizenden generaties moeten wachten voordat de Griekse dichter Hesiodos in de zevende eeuw v.Chr. zijn *Theogonie* schrijft, een schriftelijke getuigenis van dat verhaal, waarmee hij als eerste een verbinding smeedt tussen poëzie en kosmologie.

Het oorsprongsverhaal blijft dankzij de wetenschap tot in onze tijd weerklinken: vergelijkingen bezitten weliswaar niet het suggestieve vermogen van poëtische taal, maar toch zijn de begrippen van de moderne kosmologie – een heelal dat

ontstaat uit een fluctuatie van het vacuüm, of *kosmische inflatie* – minstens even adembenemend.

Het komt allemaal voort uit die ene, eenvoudige en onvermijdelijke vraag: ‘Waar komt dit allemaal vandaan?’

Een vraag die nog steeds op elke breedtegraad weerklinkt bij mensen uit de meest uiteenlopende culturen. Het stellen van die vraag is kennelijk iets dat ogenschijnlijk zeer van elkaar verschillende beschavingen met elkaar gemeen hebben. Kinderen en managers vragen het zich af, wetenschappers en sjamanen, ruimtevaarders en de laatste vertegenwoordigers van kleine, geïsoleerd overlevende groepen jager-verzamelaars in Borneo of in het Amazonegebied.

Het is zo’n oeroude vraag dat je je kunt voorstellen dat hij misschien zelfs door soorten die vóór ons leefden werd doorgegeven.

Oorsprongsmythen en de wetenschap

Volgens de Kuba in Congo was de schepper van het heelal de grote Mbombo, de gebieder van een duistere wereld, die de zon, de maan en de sterren uitbraakte om verlost te zijn van een verschrikkelijke buikpijn. Volgens de Fulani in de Sahel was het de held Doondari, die een enorme druppel melk in aarde, water, ijzer en vuur veranderde. Voor de pygmeëen van de Centraal-Afrikaanse oerwouden ontstond alles uit een reusachtige schildpad die haar eieren al zwemmend in de oerwateren deponeerde.

Aan de meeste mythologische verhalen ligt heel vaak iets ten grondslag dat de mensen een onbestemde angst aanjaagt: er heerst chaos, duisternis, of er is een vloeibare, vormeloze vlakte, een grote nevel, of een totaal desolate aarde. Totdat een bovennatuurlijk wezen ingrijpt, het geheel vormgeeft en orde schept in het heelal. En daarna verschijnen de grote reptielen, het oer-ei, de held of de Schepper die hemel en aarde,

zon en maan scheidt en mensen en dieren het leven schenkt.

Het scheppen van orde is noodzakelijk omdat daarmee de regels vastliggen en de basis wordt gelegd voor de ritmes die het leven van de gemeenschappen bepalen: de cyclus van dag en nacht en de wisseling van de seizoenen. De wanorde uit de oertijd roept een oeroude angst op: de enorme vrees om ten prooi te vallen aan ontketende natuurkrachten, of dat nu wilde dieren of aardbevingen zijn, droogte of overstromingen. Maar als de natuur eenmaal zó gevormd is dat ze de regels volgt die door de schepper van die orde zijn gedicteerd, kan de kwetsbare menselijke gemeenschap overleven en zich voortplanten. Die natuurlijke orde weerspiegelt zich in de sociale orde, in het geheel van regels en taboes die bepalen wat men mag doen en wat absoluut verboden is. Als de groep, de stam, het hele volk zich gedraagt volgens de wetten van dat oeroude pact, zal dat geheel van normen de gemeenschap ervoor behoeden uit elkaar te vallen.

Uit de mythen zullen zich vervolgens religie en filosofie ontwikkelen, kunst en wetenschap, disciplines die elkaar wederzijds zullen beïnvloeden en bevruchten en die de mogelijkheid zullen scheppen voor het opbloeien van duizendjarige beschavingen. Deze onderlinge verwevenheid wordt doorbroken vanaf het moment dat in de wetenschappen, veel meer dan op enig ander terrein, een stormachtige ontwikkeling op gang komt en het trage ritme van eeuwenlang onveranderd gebleven maatschappijen plotseling wordt verstoord door een snelle opeenvolging van wetenschappelijke ontdekkingen. Deze leiden tot diepgaande veranderingen in de leefwijze van hele volkeren. Alles verandert opeens en dat blijft zo doorgaan, soms angstaanjagend snel.

Met de ontwikkeling van de wetenschap wordt de moderne tijd geboren, maatschappijen worden dynamisch en veranderen voortdurend, in sociale groepen gaat het gisten, de heersende klassen ondergaan diepgaande veranderingen, eeu-

wenoude machtsevenwichten raken binnen enkele decennia grondig verstoord, en soms zelfs binnen enkele jaren.

De meest verstrekkende veranderingen betreffen echter niet de manier waarop wij communiceren, of welvaart produceren, onszelf verzorgen of reizen. Wat nog het meest verandert is de manier waarop wij de wereld zien en onszelf daarin dus een plaats geven. Het verhaal van de oorsprong dat voortvloeit uit de moderne wetenschap wordt al snel zó coherent en zó volledig dat er moeilijk mee te concurreren valt. Geen andere discipline kan overtuigender en beter verifieerbare verklaringen verschaffen die bovendien in overeenstemming zijn met de enorme hoeveelheid door wetenschappers verrichte waarnemingen.

Hoewel de samenlevingen langzamerhand de magische en mysterieuze eigenschappen verliezen die hun door de mensen duizenden jaren lang werden toegedicht, is het wereldbeeld dat zich geleidelijk ontwikkelt toch het meest ongelofelijke dat je je maar kunt indenken. Het verhaal van onze oorsprong dat de wetenschap ons vertelt is veel fantastischer en krachtiger dan mythologische verhalen, en om dit verhaal te kunnen schrijven hebben de wetenschappers de kleinste en meest verborgen uithoeken van de werkelijkheid verkend. Daarvoor moesten ze het aandurven om de verst van ons verwijderde werelden te exploreren en moesten ze rekening houden met toestanden van de materie die dermate verschillend zijn van de gebruikelijke, dat het ze soms duizelde.

Hieruit komen de paradigmaveranderingen voort die een heel tijdperk kenmerken en die onze relaties onherroepelijk veranderen. De nooit ophoudende voortgang van wetenschappelijke ontdekkingen lijkt op de onstuitbare opwaartse druk van gloeiend magma, die de aardkorst verandert en soms onherstelbaar doet scheuren.

Het verhaal van de wetenschap over de oorsprong van het heelal bepaalt ons leven, het fundament waarop nieuwe soci-

ale contracten zullen worden gebaseerd wordt er ingrijpend door veranderd, er ontvouwen zich nieuwe scenario's voor kansen en risico's en de toekomst van nieuwe generaties wordt erdoor bepaald.

Daarom moet iedereen kennismaken van het door de huidige wetenschap vertelde verhaal over de oorsprong, net zoals in elke gemeenschap van het oude Griekenland iedereen wist welke mythen ten grondslag lagen aan de eigen *polis*. Om dat te bereiken moeten we een enorm obstakel overwinnen: we moeten ons er rekenschap van geven dat wetenschappelijk taalgebruik moeilijk is.

Een gecompliceerde taal

Alles begint met een op het eerste gezicht onbelangrijk voorval, iets meer dan vierhonderd jaar geleden, waarbij de hoofdrol is weggelegd voor een professor in de wiskunde en de mechanica uit Pisa, werkzaam aan de Universiteit van Padua. Wanneer Galileo Galilei een vreemde, door de Hollandse brillenmaker Hans Lipperhey gemaakte kijker verder ontweekt om ermee naar hemellichamen te kunnen kijken, heeft hij nog geen flauw idee van de moeilijkheden die daar – met name voor hemzelf – uit voort zullen komen. Nog minder kan hij voorspellen dat zijn waarnemingen in de hele wereld een schok teweeg zullen brengen.

Wat Galilei door dat systeem van lenzen ziet beneemt hem de adem: de maan is niet het volmaakte hemellichaam dat in de meest gezaghebbende teksten wordt beschreven. Ze bestaat niet uit onvergankelijke materie, maar heeft bergen, kraters met gekartelde randen en vlaktes, net als onze aarde. De zon heeft vlekken en draait om haar eigen as. De Melkweg bestaat uit een enorme massa sterren. De 'sterretjes' die Jupiter omgeven zijn manen die om die planeet heen draaien.

Wanneer hij dat alles in 1610 publiceert in zijn *Sidereus*

Nuncius veroorzaakt hij, misschien zonder het te weten, een aardverschuiving die een geloofs- en waardensysteem omver zal werpen dat meer dan duizend jaar heeft gegolden en dat niemand ooit ter discussie had durven stellen.

Met Galilei begint de moderne tijd: de mens maakt zich los van elke bevoogding en komt, gewapend met niets dan zijn eigen verstand, geheel alleen tegenover de grootsheid van het heelal te staan. De wetenschapper zoekt de waarheid niet meer in boeken, hij buigt het hoofd niet meer voor autoriteiten, hij herhaalt niet langer de door de traditie overgeleverde formules, maar onderwerpt alles aan nietsontziende kritiek. Wetenschap verandert in creatief onderzoek van ‘voorlopige waarheden’ door middel van ‘zintuiglijke waarnemingen’ en ‘streng bewijzen’.

De kracht van de wetenschappelijke methode berust erop dat gebruik wordt gemaakt van met instrumenten geverifieerde hypothesen, die het mogelijk maken de meest uiteenlopende natuurverschijnselen waar te nemen, te meten en te catalogiseren. Het zijn de resultaten van experimenten, door Galilei ‘zintuiglijke waarnemingen’ genoemd, die beslissen of een hypothese werkt of dient te worden verworpen.

Na Galilei’s waarnemingen zullen er spoedig onweerlegbare bewijzen worden gevonden voor de ‘waaninnige’ theorieën van Copernicus en Kepler en zal het wereldbeeld zó radicaal kantelen dat niets meer zal zijn zoals het daarvoor was. De schokken die de nieuwe benadering in een toch beperkte tijdspanne teweegbrengen zijn zó heftig dat het niet makkelijk is daarvoor precedenten te vinden.

Galilei’s wetenschappelijke werkwijze is zo revolutionair omdat ze niet pretendeert de waarheid te verkondigen, maar onophoudelijk haar eigen voorspellingen probeert te weerleggen. Ze juicht het toe wanneer tot dan toe verkregen zekerheden plotseling omvergeblazen worden. Ze corrigeert zichzelf op basis van op experimenten gestoelde verificaties. Om de

steeds complexer wordende hypothesen te kunnen toetsen, wordt ernaar gestreefd de materie en het heelal tot in hun verste uithoeken te onderzoeken.

Door deze geduldige en bewuste werkwijze komen nieuwe begrippen tot stand waarmee steeds ongrijpbaarder en schijnbaar marginale verschijnselen kunnen worden beschreven. Terwijl zo een steeds vollediger en verfijnder wereldbeeld wordt geconstrueerd, kunnen de subtielste verschijnselen tot in de kleinste details worden gecontroleerd en kunnen er steeds geavanceerdere technologieën worden ontwikkeld.

De prijs die hiervoor betaald moet worden is het gebruik van steeds ingewikkelder instrumenten en een taalgebruik dat steeds verder van de gewone omgangstaal af komt te staan: zodra we ons buiten de periferie van ons dagelijks leven begeven, blijken de instrumenten en het begrippenapparaat waarmee we onze gewone bezigheden analyseren en beschrijven, volkomen ontoereikend. Als we de minuscule dimensies onderzoeken waarin de geheimen van de materie verborgen liggen, of de immense kosmische ruimtes die ons over de oorsprong van het heelal vertellen, hebben we heel speciale apparatuur nodig – en jaren van voorbereiding.

Zo verbazend is dat niet: ook de gedurfdste verkenningsreizen op aarde vereisen grote inspanningen en bijzondere instrumenten. Denk aan gevaarlijke overzeese ontdekkingsreizen of aan beklimmingen van de Himalaya of aan expedities in de diepste troggen van de oceanen. Waarom zou wetenschappelijk onderzoek eenvoudiger zijn?

Daarom moet iemand die de natuurkunde werkelijk wil doorgronden zich jarenlange inspanningen getroosten, groentheorie en differentiaalrekening bestuderen, de relativiteitstheorie en de quantummechanica beheersen en zich verdiepen in de veldentheorie. Dat zijn allemaal heel lastige zaken. Het is moeilijk je de begrippen en de taal die daarbij een rol spelen eigen te maken, ook als je ze al jaren gebruikt.

Maar de barrière van de specialistische taal die veel mensen verhindert om tot het kloppende hart van de moderne wetenschap door te dringen, kan gemakkelijk worden weggenomen: je kunt heel goed gewone taal gebruiken om de basisconcepten uit te leggen – en met name om het nieuwe wereldbeeld dat uit de wetenschap voortvloeit voor iedereen toegankelijk te maken.

Een gevaarlijke reis

Om de oorsprong van ons heelal te begrijpen moet je bereid zijn een heel riskante reis te ondernemen. Het gevaar schuilt in het feit dat we onze geest moeten laten wennen aan gebieden die zo ver van de ons vertrouwde gebieden af liggen dat onze geijkte categorieën volledig ontoereikend blijken: we zien ons gedwongen het onzegbare te zeggen en ons het onvoorstelbare voor te stellen, ondanks het feit dat onze Homosapiensgeest, die een zeer krachtig instrument was bij het exploreren en koloniseren van onze planeet, volledig ongeschikt blijkt als we willen begrijpen wat zich in dergelijke verafgelegen oorden afspeelt. Net als de ontdekkingsreizigers van weleer hebben we geen andere keus dan de steven naar de horizon te wenden en de onzekerheden en risico's van het bevaren van een onbekende oceaan te accepteren.

Toch is ook in wetenschappelijk onderzoek de terugkeer naar de thuishaven heel belangrijk. Daarin lijkt de moderne onderzoeker erg op Odysseus, die, waar hij zich ook bevindt, altijd droomt van het moment waarop hij op Ithaca aan land zal gaan. Naar huis terugkeren wil zeggen dat je, ook wanneer de gevolgde route niet naar nieuw land heeft geleid of wanneer je schipbreuk hebt geleden, aan andere zeelieden de heilloze routes of gevaarlijke ondieptes kunt doorgeven.

De moderne wetenschap is namelijk ook één groot collectief avontuur. We hebben theorieën en kaarten die ons leiden,