TUSSEN OERKNAL EN APOCALYPS

HEINO FALCKE

met JÖRG RÖMER

TUSSEN OERKNAL EN APOCALYPS

DE GROTE GESCHIEDENIS VAN ONZE PLANEET

Vertaald door Hans Out

2026 Prometheus Amsterdam

In deze Nederlandse uitgave zijn de noten, net als in de Duitse editie, niet in het boek opgenomen, maar online gezet. U kunt ze vinden op https://uitgeverijprometheus.nl/heino-falcke-en-jorg-romer-tussen-oerknal-en-apocalyps/ of via de QR-code.



De uitgever heeft getracht alle rechthebbenden te achterhalen. Aan hen die desondanks menen aanspraak te kunnen maken op enig recht, wordt verzocht contact op te nemen met Uitgeverij Prometheus, Herengracht 48, 1015 BN Amsterdam.

Alle rechten voorbehouden. Tekst- en datamining van (delen van) deze uitgave is uitdrukkelijk niet toegestaan.

Oorspronkelijke titel *Zwischen Urknall und Apokalypse*
© 2025 Heino Falcke en Jörg Römer
© 2026 Nederlandse vertaling Uitgeverij Prometheus en Hans Out
Omslagontwerp Rothfos & Gabler, Hamburg
Omslagbeeld Evgeni Tcherkasski
Foto auteur Boris Breuer
Vormgeving binnenwerk Mat-Zet b.v.
www.uitgeverijprometheus.nl
ISBN 978 90 446 6174 3

Voor Elea
en voor alle kinderen die ons barmhartigheid,
liefde en levensmoed bijbrengen

Inhoud

Woord vooraf 9

1 De oorsprong 13
2 Materie, sterren, sterrenstelsels en zwarte gaten 39
3 De aarde wordt gesmeed 80
4 Oceanen en atmosferen 103
5 De grote sluier – het ontstaan van het leven 122
6 De verovering van de continenten 159
7 De eerste mens 204
8 Van jagers tot boeren – van de zondvloed tot beschaving 233
9 Van steden tot imperiums 271
10 Apocalyps en hoop 326

Woord van dank 397
Chronologie van onze wereld 401
Beeldverantwoording 409
Register 411

Woord vooraf

Ons begin ligt verborgen in de duisternis van de hemel – letterlijk en figuurlijk. Al duizenden jaren vertellen profetische verhalen over onze oorsprong én over onze ondergang, en zij fascineren mensen tot op de dag van vandaag. De Europese cultuurgeschiedenis is daarbij sterk gevormd door de verhalen van het Bijbelse Genesis en de Apocalyps. Zij zijn deuren naar de denk- en ervaringswereld van onze voorouders, een zachte echo uit vroege tijden. Hoe stelden zij zich het ontstaan van de wereld voor? De evolutiebioloog Carel van Schaik en de historicus Kai Michel noemen Genesis zelfs een dagboek van de mensheid.[1]

Vandaag de dag zijn er nieuwe wetenschappelijke verhalen en nieuwe profeten, die ons met wetenschappelijke precisie laten terugkijken op het verleden, maar ook vooruit, naar de toekomst. Profeten van de nieuwe tijd, die met hun verrekijkers en telescopen terugkijken en -luisteren, proberen de eerste uitspraken van de schepping – die wij natuurwetten noemen en die tegenwoordig nog steeds nagalmen – te doorgronden. Maar ook voor hen blijft het echte begin verborgen achter een ondoordringbaar, nagloeiend gordijn.

Dat er een begin was waaruit mensen zijn ontstaan die kunnen vragen, rekenen en zien, is een van de meest indrukwekkende feiten van ons universum. De weg tot we in staat waren dit inzicht te bereiken, tot we werden wie we vandaag zijn, was lang, kronkelig en wonderlijk.

In dit boek neem ik u mee op een persoonlijke ontdekkingsreis door de tijd, van de geboorte van ons universum via het ontstaan van onze aarde tot de ontwikkeling van het leven en de mens, en nog een stukje verder. Wij zijn kinderen van de kosmos, die ons denken en ons bestaan tot op de dag van vandaag beïnvloedt. Veel nieuwe aspecten van dit verhaal hebben we in de afgelopen decennia dankzij moderne onderzoeken voor het eerst, of tenminste beter, kunnen ontrafelen. Het schrijven van dit boek werd zo ook voor mij een meeslepende reis. Veel mocht ik daarbij zelf ontdekken, maar menig groot raadsel wacht er nog altijd op om opgelost te worden. Als actief wetenschapper heb ik het grote voorrecht mijn hele leven een nieuwsgierig kind te mogen zijn en mijn vele vragen te stellen aan vooraanstaande experts die ik soms gericht, soms toevallig tegenkom en die mij met hun kennis en wijsheid steeds weer naar nieuwe werelden voeren.

In de wetenschap gaat het niet alleen om het schrijven van artikelen; men moet ook met elkaar in gesprek zijn. Ook deze ontmoetingen vinden hun weg in dit boek, en ik ben al die collega's dankbaar die mij de afgelopen jaren telkens weer hebben doen verwonderen.

Zo is dit boek een reisgids door ruimte en tijd geworden. Daarbij kunnen we noch alle tijdperken en gebieden uitvoerig bezoeken, noch altijd strikt de chronologische volgorde van de wereldgeschiedenis aanhouden. Op de weg naar belangrijke ontwikkelingsschreden van de mensheid blijven we hier en daar wat langer stilstaan als het onderwerp mij bijzonder interesseert. Soms is het slechts een korte tussenstop, en we gaan ook aan veel met grote stappen voorbij. Als u dat wilt, kunt u zich verdiepen met behulp van de eindnoten in het onlinege-

deelte. In de marge zijn soms tijdsaanduidingen te vinden om de oriëntatie te vergemakkelijken. ‘a’ betekent daar ‘jaren’, ‘Ma’ miljoenen jaren en ‘Ga’ miljarden jaren.

Laten we samen op reis door de tijd gaan en luisteren naar oude en nieuwe profeten. Hopelijk begrijpen we iets beter wie we zijn en waar we naartoe gaan, als we weten waar we vandaan komen.

1

De oorsprong

‘Wat was er aan het begin?’ vroeg het kind. ‘In het begin was er het Woord,’ zei de profeet.

‘In het begin was er geen mens, geen materie, geen licht en geen tijd. Alleen het Woord zweefde zinderend over het “woeste en ledige” (Hebreeuws: וָבֹהוּ תֹהוּ uit Genesis 1:1-2). En toch was alles er al. Elke gedachte die ooit is gedacht; ieder verhaal dat ooit is geschreven; iedere droom die ooit gedroomd is, was er al, zonder al gedacht, geschreven of gedroomd te zijn. Want alles, wat nu bestaat, ontstond uit datgene, wat er toen nog niet was – door het Woord, dat is zoals het is en dat het binnenste van onze wereld bijeenhoudt. Het zijn de ongeschreven regels, waarnaar alles zich vormt. Uit dit machtige Woord van het begin ontstonden Licht, Tijd, Materie, Aarde, Maan en Sterren, Planten, Dieren en uiteindelijk de Mens.

Maar het begin van het Woord ligt achter een ondoordringbaar gordijn verborgen. Wat er voor het begin was, weet geen mens. Wat er na het begin kwam, kunnen we vermoeden en daarna bekijken met onze geest en ons gereedschap. Het Woord dat de kosmos schiep, schiep ook jou, mijn kind.’

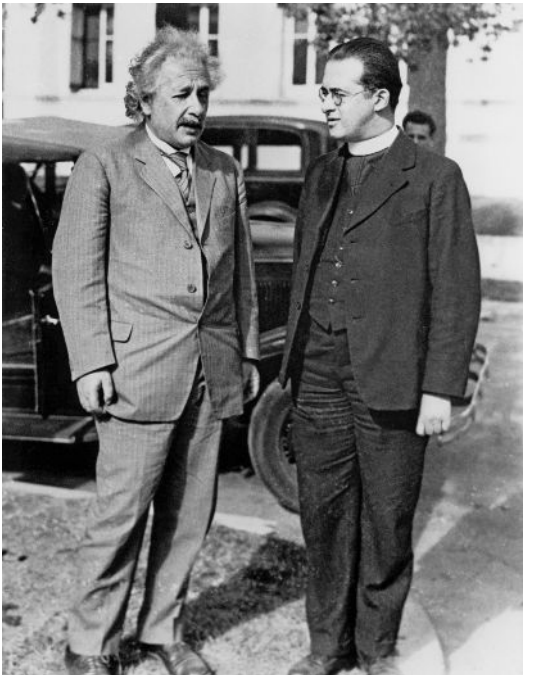
Oog in oog met de oerknal

In oktober 2021 leidde Thomas Hertog, een van de laatste studenten van de beroemde natuurkundige Stephen Hawking, mij in de Belgische stad Leuven rond door een tentoonstelling, die onderdeel was van een evenement met de toepasselijke naam 'stadsfestival KNAL!' – een festival over de oerknal. De tentoonstelling in de eerbiedwaardige universiteitsbibliotheek uit de zeventiende eeuw had hij zelf samengesteld. Er waren zowel kunstwerken als memorabilia uit de wetenschap. In een zaal hingen een paar onopvallende potloodtekeningen op vergeeld ruitjespapier aan de muur, waarop iemand keurig netjes gebogen lijnen had getrokken. Alle lijnen beginnen linksonder in een punt, gaan omhoog en daarna waaiervormig uit elkaar. Sommige krommen maken een wijde boog en vallen dan weer omlaag tot de grond, andere blijven eerst hangen en schroeven dan steeds sneller omhoog om schijnbaar in het oneindige te verdwijnen.

'Dat zijn de originele tekeningen van Georges Lemaître,' zei Thomas bijna terloops. Ik was sprakeloos. Normaal gesproken ben ik niet gauw onder de indruk, en als protestant ben ik ook geen fan van de verering van heiligen of relikwieën, maar ik had plots het gevoel me op heilige bodem te bevinden. Als Mozes voor de brandende doornstruik stond ik voor dit stukje papier. Ik bofte dat ik alleen in overdrachtelijke zin van mijn sokken geblazen werd, omdat ik die al de hele dag had gedragen.

Deze grafiek herkent iedere student astronomie die ooit een college over kosmologie heeft bijgewoond of alleen maar een behoorlijk dictaat heeft ingezien onmiddellijk. Het schetst de ontwikkeling van het hele universum in een simpel beeld. Op de horizontale x-as is de tijd gegeven, de verticale y-as staat voor de omvang van het universum.

'Toen hij dat rond 1927 of 1928 getekend had, was Lemaître de enige mens op de hele wereld die begrepen had wat de loop van het universum is,' voegde Thomas toe. 'En hier, zie je dit



1. Georges Lemaître (rechts), de bedenker van het oerknalmodel, in het jaar 1933 in gesprek met Albert Einstein, wiens algemene relativiteitstheorie hij bij de berekening van zijn wereldmodel gebruikt had.

kleine bijschrift?' Ik moest mijn bril opzetten om te zien wat daar klein met blauwe inkt geschreven staat: 't=0,' las ik. De letter 't' staat in de natuurkunde voor de tijd, van het Latijnse woord 'tempus', of tegenwoordig van het Engelse 'time'. 't=0' betekent: hier is de oorsprong van de tijd, het absolute nulpunt van de tijdscoördinaat van ons universum. Ons heelal kent een begin. Nu noemen we dat de oerknal. Wat een fundamentele ontdekking, wat een monumentale gedachte! Deze gedachte was in de jaren twintig van de vorige eeuw absoluut ketterij, en Lemaître, die niet alleen universiteitshoogleraar was, maar ook priester was geworden na zijn ervaringen in de Eerste Wereldoorlog, werd er op dat moment algemeen van verdacht dat hij zijn Bijbelse wereldbeeld met de pure wetenschap mengde.

De beroemde en in zijn tijd toonaangevende natuurkundige Sir Arthur Eddington, die in een gedurfde expeditie als eerste de relativiteitstheorie van Albert Einstein had bewezen, dankzij

een zonsverduistering, noemde de gedachte dat het universum een begin gehad zou hebben 'walgelijk'. En Einstein zei over Lemaître dat zijn wiskunde wel correct was, maar zijn natuurkunde 'afschuwelijk'.

Ja, in de natuurkunde wordt niet altijd gevochten met een fijn floret, maar soms nog met een knots. De arme Lemaître had slechts uitgerekend wat uit de relativiteitstheorie van Albert Einstein volgde. Maar klaarblijkelijk was de gedachte aan een natuurkundige oorsprong van het heelal voor de geniale grondlegger van de relativiteitstheorie toen nog te groot – hij vertrouwde zijn eigen theorie niet. Nog moediger was het echter dat Lemaître zelfs al zichtbare aanwijzingen had ontdekt voor zijn nieuwe model van het heelal. Hij stelde namelijk vast dat de pas ontdekte sterrenstelsels, die uit honderden miljarden sterren bestaan, zich allemaal van ons verwijderen.

Het ging om slechts twee alinea's in een Franstalig artikel (dat destijds door velen werd genegeerd), waarin de wet van Hubble-Lemaître werd geformuleerd – de wet, die tegenwoordig echter boven elke twijfel is verheven: hoe verder we het heelal in kijken, en hoe verder we daarmee terugkijken in het verleden, des te sneller vliegen alle sterrenstelsels uiteen en van elkaar weg.

Lemaître was een echte visionair en profeet van een nieuwe tijd, die tot aan het einde van zijn leven naar verdere bewijzen voor zijn moedige theorie zocht. Wereldfaam, die hij niet zocht, moest hij tijdens zijn leven ontberen. Er waren vier decennia voor nodig, en nog eens drie Nobelprijzen, voordat duidelijk werd dat een van die dunne potloodstrepen van Lemaître overeenkomt met ons huidige universum.

De sterrenstelsels in ons universum lijken op punten die zijn geplakt op het oppervlak van een opgeblazen luchtballon die ooit zo klein mogelijk samengeperst zat in een zakje. Natuurlijk is onze ruimte driedimensionaal, maar een opgepropte driedimensionale ruimte kunnen we ons moeilijk voorstellen. Op dit moment is het universum groot en uitgerekt, de ballon is

opgeblazen. De sterrenstelsels zijn ver van elkaar verwijderd, maar alle punten in onze huidige ruimte, hoe ver die vandaag ook uit elkaar mogen liggen, lagen toen, in het begin, heel dicht bij elkaar.

Het is eigenlijk onvoorstelbaar. De plek, waar nu op een afstand van 55 miljoen lichtjaar de supermassa van een zwart gat ligt in het hart van het sterrenstelsel M87, is dan nog dicht bij de plek waar nu de bank staat waarop ik dit schrijf. Het hele zichtbare universum past in mijn woonkamer: de omvang van mijn bank, mijn huis, de dom van Keulen, de inhoud van onze aarde, het zonnestelsel, onze Melkweg – echt alles. Toen, in het begin.

Blaas je de ballon op, dan bewegen alle punten van elkaar af, en wel des te sneller, naarmate ze verder uit elkaar liggen. Een sterrenstelsel, dat op het oppervlak van de ballon een kwart van de omvang van onze Melkweg verwijdert is, beweegt zich per ademstoot ook een fractie van de kwart omvang van ons af. Een stelsel, dat echter de helft van de omvang verwijderd is, beweegt zich per ademstoot dubbel zoveel van ons af. Hoe verder weg, hoe sneller – precies zoals de wet van Hubble-Lemaître stelt. Dat geldt voor ieder willekeurig punt op het ballonoppervlak. Waar je ook een kruisje zet, elk ander punt zal zich bij elke ademstoot sneller van dat kruisje verwijderen naarmate het er verder vandaan ligt. Wat een gedurfd idee! De ongelofelijke Lemaître beschreef het universum weliswaar niet als luchtballon, maar als een ruimte die uitzet, die met een oeratoom begon, een kosmisch ei als het ware, waaruit het hele universum explosief is ontstaan.

De oerdubbelknal

Vandaag spreken we zelfs over twee oerknallen, die 13,8 miljard jaar geleden direct na elkaar plaatsvonden, waarbij de natuurkunde van de eerste veel onzekerder is dan van de tweede. Bij de eerste knal

13,8 Ga geleden
Oerknal en inflatie

zet de ruimte plotseling uit, en daarmee een mysterieuze energie – in 10^{-33} tot 10^{-32} seconden, dat wil zeggen 32 nullen achter de komma. Dat korte moment is zogezegd de eerste oerademstoot bij het opblazen van de kosmische ballon die ons universum moet worden. Minstens honderd miljard maal miljard maal miljard wordt de doorsnede van de lege ruimte inflatoir groter – en dus noemen we deze tijd ook de fase van de inflatie. Maar niet alleen de ruimte wordt groter, ook de beschikbare energie wordt dat. Uit de massa van een enkele erwt – en massa is volgens Einstein immers ook energie – ontstaat een heel universum met voldoende energie en massa voor ontelbare sterrenstelsels.[1]

10^{-32} seconden
De hete oerknal

Dan, na de eerste 10^{-32} seconden, doet zich een tweede knal voor. Zoals een met ultrahete lucht sterk opgeblazen ballon klapt en zijn energie in een stootgolf omzet die we als een harde knal horen, zo zet de uitzettende, van energie zwangere ruimte zijn kracht om in een tweede, hete oerknal. De vrijkomende energie resulteert in een enkele flits van de heetste kwantumstroop, die later zal afkoelen tot de materie waaruit wij allen bestaan. Materie zoals we die op dit moment kennen, bestaat echter helemaal nog niet. De energie die materie zal worden is nu nog vrijer dan een vogel. Ze beweegt zo snel en zo bevlogen, zonder enige traagheid, als het licht. *Fiat lux*.

'Er zij licht, en er was licht,' staat er in Genesis, waarbij we aan een geheel nieuwe wereld moeten denken.[2] Op deze eerste dag van de schepping, die geen seconde duurt, is alles één in het licht en ontstaan ruimte en tijd, misschien zelfs dóór het licht.

Alle ons bekende krachten zijn op een of andere manier nog één en niet te onderscheiden: kernkracht, magnetische en elektrische krachten, ze maken allemaal deel uit van één enkele oerkracht. Pas geleidelijk aan – terwijl het universum verder uit elkaar spat – komen de afzonderlijke krachten en de daarmee verbonden deeltjes op.

Ongeveer een picoseconde (10^{-12} seconde) na de oerknal

begint het geheimzinnige higgsveld te werken en zich aan de lichtachtige deeltjes te hechten. Het higgsveld is het remblok in het universum en zorgt ervoor dat de oorspronkelijke deeltjes massa krijgen.[3] Door de afkoeling van het universum kan nu materie ontstaan, waarmee je echt iets kunt beginnen.

Zoals in onweerswolken uit waterdamp plotseling sneeuwvlokken, regendruppels of hagelstenen voortkomen, zo ontstaan nu stuk voor stuk de verschillende subatomaire deeltjes van de huidige tijd uit de kosmische oerbliksem: protonen, neutronen en de krachten die ze bijeenhouden. Zo scheiden licht en materie, het vaste en het onvatbare van elkaar en worden tot de elementaire oersoep van onze wereld.

Er zit een barst in de schepping

Dat alles werkt alleen daarom, omdat het schijnbaar volmaakte systeem van natuurwetten en deeltjes een onverklaarbaar defect heeft, dat ervoor zorgt dat er überhaupt iets overblijft van de uit licht geboren materie. Want bij de overgang van energie naar materie worden normaal gesproken twee precies tegenovergestelde deeltjes gecreëerd: deeltjes en antideeltjes, engeltjes en duiveltjes. Ze zijn als de twee polen van een batterij. Als je ze samenbrengt ontstaat er kwantummechanische kortsluiting, en vernietigen de twee deeltjes elkaar in een flits. Precies dat gebeurt in het vroege universum: deeltjes en antideeltjes ontstaan uit licht en energie, vernietigen elkaar en worden weer pure energie en licht.[4]

In beginsel hadden er bij de oerknal dus precies evenveel deeltjes en antideeltjes gecreëerd moeten worden en elkaar vervolgens paarsgewijs helemaal moeten vernietigen. Er zou niets meer zijn overgebleven. Wat zo hoopvol begon, zou even snel weer voorbij geweest zijn.

In plaats daarvan ontstaan er voor elk miljard antideeltjes één miljard en één gewone deeltjes. In het vroege vuurwerk ver-