

Fundamenteel

Tien sleutels tot de werkelijkheid

Frank Wilczek



UITGEVERIJ NIEUWEZIJD'S

Oorspronkelijke titel: *Fundamentals – Ten Keys to Reality*. New York: Penguin Press, 2021

Uitgegeven door: Uitgeverij Nieuwezijds, Amsterdam
Vertaling: Auke van den Berg, Nijmegen
Redactionele adviezen: Margriet van der Heijden, Amsterdam
Zetwerk: CeevanWee, Amsterdam
Omslag: Buro Blikgoed, Haarlem

Copyright © 2021 Frank Wilczek. All rights reserved
© Nederlandse vertaling, Uitgeverij Nieuwezijds, 2021

ISBN 978 90 5712 556 0
NUR 910

www.nieuwezijds.nl



Bij de productie van dit boek is gebruikgemaakt van papier dat het keurmerk van de Forest Stewardship Council (FSC) mag dragen. Bij dit papier is het zeker dat de productie niet tot bosvernietiging heeft geleid.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband, elektronisch of op welke andere wijze ook en evenmin in een retrieval system worden opgeslagen zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel dit boek met veel zorg is samengesteld, aanvaarden schrijver(s) noch uitgever enige aansprakelijkheid voor schade ontstaan door eventuele fouten en/of onvolkomenheden in dit boek.

VOORWOORD

Opnieuw geboren

I

Dit is een boek over fundamentele lessen die bestudering van de fysieke wereld ons kan leren. Ik heb veel mensen ontmoet die nieuwsgierig zijn naar de fysieke wereld en graag willen weten wat de moderne wetenschap erover te zeggen heeft. Het gaat dan om advocaten, artsen, kunstenaars, studenten, docenten, ouders of gewoon nieuwsgierige mensen. Ze bezitten intelligentie, maar geen kennis. In dit boek heb ik geprobeerd de centrale boodschappen van de moderne natuurkunde zo eenvoudig mogelijk over te brengen zonder dat dit ten koste ging van de nauwkeurigheid. Bij het schrijven van dit boek heb ik mijn nieuwsgierige vrienden en hun vragen voortdurend in gedachten gehouden.

Voor mij houden die fundamentele lessen veel meer in dan de naakte feiten over hoe de fysieke wereld werkt. Zeker, die feiten zijn zowel krachtig als op een vreemde manier mooi, maar ook de denkwijze die ons in staat stelde ze te ontdekken is een grote prestatie. En het is belangrijk te bekijken wat die fundamentele lessen te zeggen hebben over hoe wij als mensen in het grote geheel passen.

II

Ik heb tien brede principes geselecteerd als mijn fundamentele beginselen. Elk daarvan vormt het onderwerp van een hoofdstuk. In elk hoofdstuk leg ik eerst het onderwerp van dat hoofdstuk uit vanuit verschillende invalshoeken en doe ik enkele beredeneerde voorspellingen over de toekomstige ontwikkeling ervan. Het was erg leuk om deze voorspellingen te bedenken, en ik hoop dat ze spannend zijn om te lezen. Ze zijn bedoeld om nóg een fundamentele boodschap over te brengen: dat ons begrip van de fysieke wereld nog altijd groeit en verandert. Het is iets levends.

Ik heb een zorgvuldig onderscheid gemaakt tussen speculaties en feiten, en voor de feiten de aard aangegeven van de waarnemingen en experimenten waarop ze berusten. Want de meest fundamentele boodschap is misschien wel dat we veel aspecten van de fysieke wereld ten diepste begrijpen. Albert Einstein formuleerde het zo: 'Het feit dat het heelal te begrijpen is, is een wonder.' Ook dat was een zwaarbevochten ontdekking.

Juist omdat ze zo verrassend is, moet de begrijpelijkheid van het fysieke heelal worden aangetoond en niet simpelweg aangenomen. Het meest overtuigende bewijs is dat ons begrip, hoe incompleet ook, ons in staat heeft gesteld grootse en verbazingwekkende dingen te verwezenlijken.

In mijn onderzoek probeer ik de hiaten in ons begrip op te vullen en nieuwe experimenten te bedenken om de grenzen van het mogelijke te verleggen. Bij het schrijven van dit boek heb ik er veel genoeg aan beleefd een stapje terug te doen en vol verwondering een aantal hoogtepunten te beschouwen die generaties wetenschappers en technici al hebben verwezenlijkt, in samenwerkingsverbanden die tijd en ruimte overspannen.

III

Dit boek wil ook een alternatief bieden voor traditioneel religieus fundamentalisme. Het stelt een aantal van dezelfde fundamentele vragen, maar tracht die te beantwoorden door de fysieke werkelijkheid te onderzoeken, in plaats van teksten en tradities.

Veel van mijn wetenschappelijke helden – Galileo Galilei, Johannes Kepler, Isaac Newton, Michael Faraday, James Clerk Maxwell – waren vrome christenen. (Daarin waren ze representatief voor hun tijd en omgeving.) Ze meenden dat ze God konden benaderen en eren door Zijn werk te bestuderen. Einstein had eenzelfde houding, al was hij niet religieus in conventionele zin. Hij verwees vaak naar God (of ‘de Oude’), zoals in een van zijn beroemdste citaten: ‘Subtiel is de heer, maar kwaadaardig is hij niet.’

De geest van hun onderneming, en van de mijne hier, overstijgt specifieke dogma's, zowel religieuze als antireligieuze. Ik zou het zo willen stellen: door te bestuderen hoe de wereld werkt bestuderen we hoe God werkt, en *leren zo wat God is*. In die geest kunnen we de zoektocht naar kennis interpreteren als een vorm van aanbidding en onze ontdekkingen als openbaringen.

IV

Het schrijven van dit boek heeft mijn blik op de wereld veranderd. Het boek begon als een uiteenzetting, maar groeide uit tot een bespiegeling. Toen ik het materiaal overzag, kwamen onverwacht twee thema's bovendien. Hun helderheid en diepgang hebben me verbluft.

Het eerste thema is overvloed. De wereld is groot. Natuurlijk, één aandachtige blik op de hemel tijdens een heldere nacht volstaat om je ervan te doordringen dat ‘daarbuiten’ een hoop ruimte is. En als we na zorgvuldige studie getallen aan die omvang verbinden, gaat het ons natuurlijk duizelen. Maar de uitgestrektheid van de

ruimte is maar één aspect van de overvloed van de natuur, en het is niet het aspect dat het meest centraal staat in de menselijke ervaring.

Zo is er, zoals Richard Feynman het stelde, ‘onderaan volop ruimte’. Elk menselijk lichaam bevat veel meer atomen dan er sterren in het zichtbare heelal zijn, en ons brein bevat ongeveer evenveel neuronen als er sterren in onze Melkweg zijn. Het innerlijke heelal is een waardige aanvulling op het heelal daarbuiten.

Wat voor de ruimte geldt, geldt ook voor de tijd. Kosmische tijd is er in overvloed. Een mensenleven is niets vergeleken met de hoeveelheid tijd die is verstreken sinds de oerknal. En toch bevat een mensenleven veel meer momenten van bewustzijn dan de geschiedenis van het heelal mensenlevens bevat, zoals we zullen bespreken. We zijn begiftigd met een overvloed aan innerlijke tijd.

Ook de fysieke wereld is er een van overvloed in tot nu toe on-aangesproken bronnen voor creatie en inzicht. De wetenschap onthult dat de nabije wereld – in bekende en toegankelijke vormen – veel meer energie en bruikbaar materiaal bevat dan op dit moment door de mens wordt geëxploiteerd. Dit besef maakt ons sterker en zou onze ambities moeten stimuleren.

Waarneming zonder hulpmiddelen levert maar een paar splinters op van de werkelijkheid die door wetenschappelijk onderzoek wordt onthuld. Neem bijvoorbeeld het gezichtsvermogen. Het gezichtsvermogen is onze breedste en belangrijkste toegangspoort tot de buitenwereld. Maar het laat nog zoveel ongezien! Telescopen en microscopen onthullen schatten aan informatie, versleuteld in licht, die doorgaans onze ogen bereiken zonder te worden herkend. Bovendien blijft ons zicht beperkt tot één octaaf – het bereik van zichtbaar licht – uit een oneindig klavier van elektromagnetische straling dat zich uitstrekt van radiogolven tot microgolven en infrarood aan de ene kant, en aan de andere kant van ultraviolet tot röntgenstralen en gammastralen. En zelfs binnen die ene octaaf is ons kleurenzicht troebel. Er zijn dus veel aspecten van de werkelijkheid die onze zintuigen niet kunnen waarnemen, maar dankzij

onze geest kunnen we onze natuurlijke beperkingen overstijgen. Het is een groots en continu avontuur om de deuren van de waarneming verder open te zetten.

v

Het tweede thema is dat je ‘opnieuw geboren’ moet worden om het fysieke heelal daadwerkelijk te begrijpen.

In de tijd dat ik bezig was met het schrijven van dit boek werd mijn kleinzoon Luke geboren. Tijdens mijn werk aan een eerste versie van de tekst kon ik de eerste paar maanden van zijn leven observeren. Ik zag hoe hij zijn eigen handjes bestudeerde, met wijdopen ogen, en hoe bij hem het besef ontstond dat hij er controle over had. Ik zag de vreugde waarmee hij leerde naar voorwerpen in de buitenwereld te reiken en ze te pakken. Ik zag hem experimenteren met voorwerpen, hoe hij ze liet vallen en ze probeerde terug te vinden, en dit steeds weer herhaalde, alsof hij niet helemaal zeker was van het resultaat, maar blij lachte als hij ze weer had gevonden.

Ik kon zien dat Luke op deze manier – en op vele andere manieren – een model van de wereld aan het construeren was. Hij benaderde die met onverzadigbare nieuwsgierigheid en weinig vooronderstellingen. Door met de wereld om te gaan leerde hij dingen die bijna alle volwassenen als vanzelfsprekend beschouwen, zoals het feit dat de wereld onder te verdelen is in zelf en niet-zelf, dat gedachten bewegingen van het zelf kunnen controleren maar niet die van het niet-zelf en dat we naar lichamen kunnen kijken zonder hun eigenschappen te veranderen.

Baby's zijn net kleine wetenschappers, die experimenten uitvoeren en daar conclusies uit trekken. Maar hun experimenten zijn nogal grof, gemeten naar de normen van de moderne wetenschap. Baby's werken zonder telescopen, microscopen, spectroscopen, magnetometers, deeltjesversnellers, atoomklokken of welk ander

instrument ook dat we hanteren om onze meest waarachtige en accurate modellen van de wereld te construeren. Hun ervaring blijft beperkt tot een klein scala aan temperaturen; ze zijn ondergedompeld in een atmosfeer met een heel speciale chemische samenstelling en druk; de zwaartekracht van de aarde trekt hen (en alles in hun omgeving) omlaag, terwijl het aardoppervlak hen ondersteunt ... enzovoort.

Baby's construeren een wereldmodel dat hun ervaringen verklaart *binnen de grenzen van hun waarneming en omgeving*. Voor praktische doeleinden is dat het juiste plan. Om met de alledaagse wereld om te gaan is het, als we kind zijn, efficiënt en redelijk om lessen te trekken uit die alledaagse wereld.

Maar de moderne wetenschap onthult een fysieke wereld die heel anders is dan het model dat we als baby construeren. Als we ons opnieuw openstellen voor de wereld, nieuwsgierig en zonder vooronderstellingen – als we onszelf opnieuw geboren laten worden – beginnen we de wereld op een andere manier te begrijpen.

Sommige dingen moeten we leren. De wereld is opgebouwd uit een paar basisbouwstenen die strikte maar vreemde en onbekende regels volgen.

Sommige dingen moeten we afleren.

De quantummechanica laat zien dat je iets niet kunt observeren zonder het te veranderen. Elke persoon ontvangt unieke boodschappen uit de buitenwereld. Stel je voor dat je samen met een vriend in een heel donkere kamer zit en naar een zwakke lichtbron kijkt. Maak dat licht heel, heel zwak, bijvoorbeeld door er meerdere doeken overheen te leggen. Uiteindelijk zullen jullie alleen nog met tussenpozen lichtflitsen zien, maar elk van jullie ziet die flitsen op verschillende momenten. Het licht is uiteengevallen in afzonderlijke quanta, en quanta kunnen niet worden gedeeld. Op dit fundamentele niveau ervaren we afzonderlijke werelden.

De psychofysica laat zien dat het bewustzijn niet de meeste handelingen stuurt, maar er meldingen van verwerkt, van onbewuste eenheden die het werk doen. Met een techniek die bekendstaat als

Inhoud

Inleiding 17

I WAT ER IS

1. Er is ruimte in overvloed 29
2. Er is tijd in overvloed 55
3. Er zijn maar heel weinig ingrediënten 73
4. Er zijn maar heel weinig wetten 103
5. Er is materie en energie in overvloed 135

II BEGIN- EN EINDPUNTEN

6. De kosmische geschiedenis is een open boek 153
7. Complexiteit doemt op 167
8. Er valt nog veel meer te zien 175
9. Mysteries blijven bestaan 193
10. Complementariteit verruimt de geest 211

Nawoord: De lange reis naar huis 227

Dankwoord 232

Appendix 233

Index 243

Inleiding

I

Het heelal is een vreemde plek.

Aan pasgeboren baby's doet de wereld zich voor als een wirwar van verwarrende indrukken. Om er wijs uit te worden leert een baby al snel onderscheid te maken tussen boodschappen vanuit een innerlijke wereld en boodschappen afkomstig uit een wereld daarbuiten. De innerlijke wereld omvat zowel gevoelens, zoals honger, pijn, welbevinden en slaperigheid, als het schaduwrijk van de dromen. Ook bevinden zich daarbinnen privégedachten, zoals de gedachten die haar blik richten, haar greep en al snel ook haar spraak.

De buitenwereld is een ingewikkelde intellectuele constructie. Onze baby besteedt er veel tijd aan om die te maken. Ze leert in haar waarnemingen stabiele patronen herkennen die, anders dan haar eigen lichaam, niet betrouwbaar op haar gedachten reageren. Ze ordent die patronen tot objecten. Ze leert dat die objecten zich op enigszins voorspelbare manieren gedragen.

Uiteindelijk komt onze baby, nu een kind, tot het inzicht dat sommige objecten op wezens zoals zijzelf lijken, wezens met wie ze kan communiceren. Nadat ze informatie met die wezens heeft uitgewisseld raakt ze ervan overtuigd dat ook zij binnen- en buitenwerelden ervaren en dat ze allemaal, heel opmerkelijk, vele objecten met elkaar delen en dat die objecten gehoorzamen aan dezelfde regels.

II

Begrijpen hoe je greep kunt krijgen op de gemeenschappelijke buitenwereld – met andere woorden: de fysieke wereld – is natuurlijk een cruciaal praktisch probleem, met veel aspecten. Om te gedijen in een jager-verzamelaarssamenleving zou ons kind bijvoorbeeld moeten leren water te vinden; ze moet leren welke planten en dieren geschikt zijn om te eten en hoe je ze kunt vinden, kweken of bejagen; hoe je eten moet klaarmaken en koken, en veel andere feiten en vaardigheden.

Complexere samenlevingen brengen andere uitdagingen met zich mee, bijvoorbeeld hoe je gespecialiseerde werktuigen moet maken, hoe je duurzame constructies moet bouwen en hoe je de tijd kunt bijhouden. Geslaagde oplossingen voor de problemen die de fysieke wereld stelt worden ontdekt, gedeeld en in de loop van generaties verzameld. Ze gaan de ‘technologie’ van een samenleving vormen.

Niet-wetenschappelijke samenlevingen ontwikkelen vaak rijke en complexe technologieën. Dankzij sommige van die technologieën konden – en kunnen – mensen ook in lastige omgevingen gedijen, zoals het noordpoolgebied of de Kalahariwoestijn. Andere technologieën maakten de bouw mogelijk van grote steden en indrukwekkende monumenten, zoals de piramiden in Egypte en Midden-Amerika.

Maar voordat de wetenschappelijke methode opkwam, dus gedurende het grootste deel van de menselijke geschiedenis, ging het er bij de ontwikkeling van technologieën nogal willekeurig aan toe. Succesvolle technieken werden min of meer toevallig ontdekt. Eenmaal ontdekt werden ze overgedragen via zeer specifieke procedures, rituelen en tradities. Ze vormden geen logisch systeem, en er werden ook geen systematische pogingen ondernomen om ze te verbeteren.

Dankzij op ‘vuistregels’ gebaseerde technologieën konden mensen overleven, zich voortplanten en vaak van wat vrije tijd genieten