

## QUANTUM CHANGING IN DE KOSMOGENESE VAN STEPHEN HAWKING

Gerard Donkers 2023

Al eeuwenlang zijn de natuurwetenschappen en de sociale wetenschappen van elkaar gescheiden kennisdomeinen. Beide spreken een heel verschillende taal. Het recente kwantumdenken in de fysica biedt mogelijk een nieuw perspectief dat deze kennisdomeinen dichter bij elkaar kan brengen.

De noodzaak van een dergelijke verbinding doet zich voelen in hedendaagse praktijken en theorieën over veranderen. Nemen we als voorbeeld de aanpak van urgente ecologische en biologische kwesties die vragen om een verbindende benadering vanuit een meervoudig perspectief. In het boek *Grondbeginselen van veranderen* (SWP 2023) pleit ik met het oog op een noodzakelijk herstel van de balans tussen natuur, mens en maatschappij voor de systeemvisie als basis van veranderkunde. Het is een benadering waarin wordt geprobeerd veranderprocessen in het bètadomein en veranderprocessen in het sociale domein met elkaar te verbinden. Maar hoe ziet die verbondenheid eruit en hoe kunnen we die brede visie op veranderen verder onderbouwen?

In een eerste artikel over dit onderwerp ga ik nader in op het kwantumdenken van de befaamde natuurkundige en kosmoloog Stephen Hawking.

Hawking heeft de kwantumfysica toegepast op het ontstaan en de ontwikkeling van het heelal. Zijn opvattingen staan verwoord in het boek *Het ontstaan van de tijd*, in 2023 geschreven door Thomas Hertog over zijn reis met Hawking voorbij de oerknal<sup>1</sup>. De vraag is wat de kwantumfysica ons leert over veranderprocessen op het niveau van de kosmogeenese. Zo'n 13,8 miljard jaar geleden vond de oerknal plaats en kwam het heelal tot ontwikkeling. Dit leidde zo'n 5 miljard jaar geleden tot het ontstaan van de aarde en pas zeer recent tot de ontwikkeling van de mens. De kosmogeenese gaat dan ook vóóraf, ligt ten grondslag aan en is onderdeel van alle veranderprocessen in natuur, mens en maatschappij. Het is dan ook een logisch begin van denken over veranderen.

Nu is het lezen over kosmologie voor mij als sociale wetenschapper bepaald geen sinecure. Mij ontbreekt nu eenmaal het jargon, het inzicht en de logica van de fysica. Dat is niet mijn vakgebied. Ik beroep mij dan ook op specialisten, in dit geval op Stephen Hawking. Vanwege mijn gebrekkige voorkennis ervaar ik een bepaalde verlegenheid van niet-weten. Die zelfde ervaring deed ik op bij het schrijven van het boek *Naar een leefbare aarde* (2021). Het is de ervaring

---

<sup>1</sup> Op zondag 23 juli was Thomas Hertog, kosmoloog en hoogleraar theoretische natuurkunde, te gast bij Zomergasten op NPO 2

die iedereen zal opdoen als die zich begeeft in een geheel ander kennisdomein om daarmee verbindingen te zoeken met het eigen kennisdomein.

De nu volgende weergave van de ideeën van Hawking is uiteraard datgene wat ik van het genoemde boek van Thomas Hertog heb begrepen.

## **Het ontstaan van een biofiel heelal**

Steven Hawking leefde van 1942 tot 2018. Hij was en is een vooraanstaand theoretisch natuurkundige en kosmoloog, vooral bekend op het gebied van zwaartekracht, zwarte gaten en de ontwikkeling van het universum. Zijn grootste vraag was: hoe komt het dat uit de oerknal een heelal kon ontstaan waarin als bij wonder leven mogelijk was? Samen met Thomas Hertog werkte Hawking twintig jaar lang aan een nieuwe theorie van de oerknal, een theorie die het raadselachtig leefbare karakter van het heelal zou kunnen verklaren. Zij ontdekten een diepere laag van evolutie, verscholen in de prille beginfase van het universum waarin de natuurwetten zelf leken te veranderen. Dit bracht hen op een revolutionair idee: wat als de wetten van de fysica niet in steen gebeiteld staan, maar geboren worden en met het jonge heelal mee evolueren?

### *Teleologisch denken*

Het heelal ziet eruit alsof het ontworpen is. Wat moeten we denken van deze raadselachtige schijn van doelgerichtheid in de geraffineerde architectuur en de geheimzinnige finetuning van het heelal, zo vraagt Hawking zich af (11<sup>2</sup>). Volgens Aristoteles is er sprake van een doelgerichte schepping die schuilgaat achter de werking van de natuur. Aristoteles was een toegewijd bioloog die vaststelde dat vele processen in de levende wereld vervuld lijken van intenties. Alle levende wezens hebben een agenda, zo redeneerde hij. Aan dit teleologisch denken verbond Aristoteles de gedachte dat er dan ook een Finale Oorzaak moest zijn die de kosmos als geheel bestiert. Zijn teleologisch argument was volgens Hawking (30) overtuigend, logisch, geruststellend en werd in zekere mate empirisch ondersteund: van de boom die zich wil ontplooiën, de vogel die twijgjes verzamelt om een nest te maken of de hond die een gat in de tuin maakt om een bot op te graven. Het is dan ook volgens Hawking (30) geen verrassing dat de teleologische opvatting van Aristoteles bijna twee millenia lang haast zonder tegenspraak overeind bleef.

### *Denken in universeel geldige wetten*

---

<sup>2</sup> De cijfers tussen haakjes verwijzen naar de pagina's in het boek van Thomas Hertog.

In de 16<sup>e</sup> eeuw gaf een kleine groep geleerden de aanzet tot de moderne wetenschappelijke revolutie. Copernicus, Descartes, Galilei en hun tijdgenoten lieten dit teleologisch wereldbeeld van Aristoteles los. Ze vervingen het door het idee dat de natuur wordt beheerst door rationele wetten die hier en nu optreden. Die wetten kunnen we ontdekken en begrijpen door wiskundige modellen te ontwikkelen die waarnemingen uit experimenten beschrijven in termen van universeel geldende theorieën die we 'wetten' noemen. Verrassend genoeg konden met deze wetten natuurverschijnselen worden verklaard en voorspeld die soms pas vele jaren later ook 'empirisch' werden waargenomen (36). Denk bijvoorbeeld aan misschien wel de beroemdste natuurwet, de gravitatiewet (de wet van de zwaartekracht) van Newton: de wederzijdse aantrekkingskracht van twee lichamen is evenredig aan hun massa's en neemt af als het kwadraat van hun onderlinge afstand (34).

Paradoxaal genoeg werd de levensvriendelijkheid van het universum volgens Hawking met deze wetenschappelijke revolutie nóg raadselachtiger. De mens kreeg door onder meer Descartes namelijk een centrale rol toebedeeld: 'cogito ergo sum', ik denk, dus ik besta. Het wereldbeeld werd *antropocentrisch*. Maar dat wereldbeeld druiste in tegen de zogenaamde objectieve, tijdloze natuurwetten die zo fijnmazig, bijna perfect op het leven zijn afgestemd. Is dat toe te schrijven aan de werking van de menselijke geest?

### *Denken in keuzemogelijkheden*

Maar waarom werkte die theoretische natuurkunde met haar wetten vervat in wiskundige formules eigenlijk zo verdraaid goed, zo vraagt Hawking zich af. Volgens Plato's 'ideeënwereld' verwijzen die verfijnde wiskundige formules naar een soort werkelijkheid die de fysieke wereld te boven gaat. In de Platoonse visie heeft de natuur *geen keuze*. Hawking bestrijdt dit. Moeten we dan maar besluiten dat het slechts toevallige voltreffers zijn geweest? Met die Platoonse visie kan in ieder geval niet worden verklaard *waarom* het heelal zo bijzonder *levensvriendelijk* is. Hoe kan de niet-levende wereld veranderen in een levende wereld? Platoonse waarheden kunnen nooit de kloof dichten tussen levende en niet-levende werelden.

Volgens Hawking verschilt de Platoonse visie radicaal van de manier waarop de *biologie* sinds Darwin de overweldigende schijn van een doelgericht scheppen in de levende wereld zelf is gaan zien. Hoe planmatig alles lijkt te zijn ontworpen is een *constante* in de natuur. Het was deze vaststelling die ook aan de basis van Aristoteles' teleologische opvatting lag. Levende organismen zijn krankzinnig complex. Zelfs een enkele levende cel bevat een brede waaier aan

moleculaire componenten die prachtig samenwerken om de vele taken van de cel uit te voeren. In grotere organismen haakt een ontzaglijk groot aantal cellen vernuftig op elkaar in om ingewikkelde, functionele organen zoals ogen en hersenen te vormen. De menselijke hersenen alleen al bevatten meer cellen dan er sterren zijn in de Melkweg (38). Vanuit Darwin gezien behoeft er geen God als de Ontwerper van het heelal aan te pas te komen. In de biologische evolutie is alles op aarde aan elkaar verwant en is er sprake van een geleidelijk proces van natuurlijke selectie en variatie. De doelgerichtheid van de levende wereld is in het Darwinisme niet het resultaat van een boven-natuurlijke wereld, zoals in het Platonisme wordt gedacht, maar een eigenschap die voortvloeit uit natuurlijke, biologische processen. En deze processen zijn *niet deterministisch* in voorspellende zin. De biologie is volgens Hawking in de eerste plaats een retrospectieve wetenschap. In retrospectieve zin zie je dat de geschiedenis van het leven vol zit met toevalligheden en onverwachte en onvoorspelbare wendingen en kronkels. Om het 'hoe van deze ontwikkeling' te beschrijven, redeneren biologen *ex post facto*. Ze construeren de gebeurtenissen die vanaf een bepaald punt in een veranderproces tot een gegeven uitkomst hebben geleid (41).

Maar hoe zit het dan met die universele natuurwetten, neergelegd in prachtige wiskundige formules die in de fundamentele natuurkunde zo verdraaid goed kunnen verklaren en voorspellen? Hoe verhoudt zich dit tot het antropocentrisch denken á la Descartes? Hawking maakt hier het onderscheid tussen *waarom-denken* en *hoe-denken*. De fundamentele natuurkunde is gericht op 'verklaren en voorspellen' van verschijnselen, terwijl de biologie gericht is op de verandervraag 'hoe verschijnselen zich procesmatig ontwikkelen'. Het *hoe* achterhalen vraagt volgens Hawking om een meer geraffineerde analyse die gewoonlijk een ingewikkeld kluwen van krachten aan het licht brengt, krachten die elkaar beconcurreren op kruispunten in het historisch proces en die samen met een groot aantal toevalligheden maken dat de ingeslagen weg niet vanzelfsprekend was en zeker niet onvermijdelijk. Als het veranderproces een andere weg was ingeslagen dan was voorspeld, dan was de loop van de geschiedenis heel anders geworden. Als keizer Constantijn in 306 na Christus bijvoorbeeld het Christendom niet tot rijksgodsdienst had verklaard, was de invloed van het Christendom in de verdere geschiedenis van de wereld heel anders geworden. Dat is de openheid en het *niet-deterministisch karakter* dat kenmerkend is voor veranderekunde, omdat het kosmogenetisch veranderproces zich afspeelt op een hoog niveau van complexiteit en talrijke emergente elementen bevat die in de oerknal volgens Hawking nog niet aanwezig waren.

Het werd Hawking in zijn onderzoeken dan ook steeds duidelijker dat de levensvriendelijke ontwikkeling van het heelal niet zomaar bij de geboorte (de oerknal) was vastgelegd, maar een overblijfsel was van een oeroud evolutionair proces met al haar kronkels en toevalligheden. Hawking zette zich daarmee af tegen het kosmologisch antropocentrisch principe, omdat aldus het subjectieve te veel in de natuurwetenschap binnenglijpt en er geen objectieve maatstaf meer is om uit te maken welke keuze in de ontwikkeling van de kosmos de juiste was. Met de persoonlijke criteria van elke wetenschapper voor wat een levensvriendelijk heelal nu precies inhoudt, sluipt er te veel een subjectief element binnen in de natuurwetenschap. Ook de homo sapiens is met al zijn nobele eigenschappen samen met alle andere soorten geëvolueerd op basis van natuurlijke selectie en variatie. Er is geen antropisch principe dat buiten en boven de fysische evolutie van het heelal zou optreden. Een dergelijke hypothese zou in Popperiaanse zin ook niet te falsifiëren zijn, aldus Hawking (54).

We zitten volgens Hawking dus in een *impasse*. Het antropisch principe geeft aan dat wij als waarnemers binnen het universum naar een biofiel heelal kijken, terwijl de kosmologie intussen de uitdijingsgeschiedenis van het heelal tot in aanzienlijk detail in beeld heeft gebracht en vanuit de natuurkunde begrijpt. Er gaapt dus een conceptuele kloof tussen hoe wij als mensen naar onze levende wereld kijken en die van de onderliggende fysische omstandigheden die het leven überhaupt mogelijk maakten. Wat maakt de schijnbaar objectieve natuurwetten die tijdens de oerknal werden verbreid toch zo extreem geschikt voor het leven? Hoe passen wij als waarnemers in dat kosmische verhaal? Hoe ligt de eindeloos gecompliceerde verhouding tussen *mens en kosmos* in de moderne natuurkunde?

Vanuit het kwantumdenken komt een nieuwe visie op veranderen tevoorschijn.

### **Kwantumdenken in de kosmologie**

Het kwantumdenken is een tak van de natuurkunde die zich bezighoudt met het gedrag van de kleinste elementen in het universum, zoals atomen en subatomaire deeltjes. De kwantumtheorie is volgens Hawking (115) de krachtigste en meest accuraat geteste wetenschappelijke theorie ooit en een van de mooiste voorbeelden van internationale samenwerking in de geschiedenis van de mensheid. Maar wat houdt dat kwantumdenken in?

### *Het atoom*

De meest zichtbare materie verschijnt in de vorm van atomen. Een atoom bestaat veelal uit een lege ruimte met een zeer kleine kern. In het atoom draaien *negatief* geladen elektronen in aparte banen om een zware *positief* geladen centrale kern. Deze positieve en negatieve ladingen trekken elkaar aan en laten de elektronen in een baan om de kern leiden (117). Door die sterke kernkracht wordt het atoom bij elkaar gehouden. De atoomkern zelf is een conglomeraat van protonen en neutronen en die atoomkern werkt in op quarks, dat zijn de deeltjes waaruit protonen en neutronen zijn samengesteld.

Drie krachten zijn in een atoom werkzaam: een sterke kernkracht met een kort bereik, een zwakke kernkracht met een lang bereik en een elektromagnetische kracht die, net als de gravitatie (zwaartekracht) een enorm bereik heeft. Elektromagnetisme werkt overigens niet alleen in atomen en moleculen, maar ook over macroscopische en kosmische afstanden. Het elektromagnetisme is samen met de wet van de gravitatie verantwoordelijk voor het gros van de dagelijkse verschijnselen en toepassingen, zowel in communicatieapparaten en MRI-scanners als in regenbogen en in het noorderlicht (174).

### *De kwantumtheorie als standaardmodel in de fysica*

Alle zichtbare materie en de drie genoemde krachten die op de deeltjes van die materie inwerken en dus de wisselwerking tussen die deeltjes bepalen, zijn samengevat in de kwantumtheorie. De kwantumtheorie beschrijft de deeltjes en de krachten in termen van *velden* als de golvende substanties die zich over de ruimte verspreiden.

Het standaardmodel van de kwantumtheorie bevat hiernaast nog één laatste deeltje: het befaamde *higgsboson*. Dit is het deeltjesachtige kwantum van het higgsveld, een onzichtbaar veld dat zeer licht van gewicht is en waarvan de hele ruimte is doordrongen. Het geeft in het standaardmodel alle andere elementaire deeltjes hun massa. Elektronen, quarks en zelfs de wisseldeeltjes hebben van zichzelf geen massa, maar verkrijgen die massa door de weerstand die ze ondervinden wanneer ze door het alomtegenwoordige higgsveld bewegen. Die weerstand kan sterk en zwak zijn.

De lege ruimte in het atoom is dus bepaald niet leeg, maar gevuld met *onzichtbare velden*. In die velden zijn de kleinste deeltjes met elkaar verbonden en beïnvloeden ze elkaar, zelfs als ze fysiek van elkaar zijn gescheiden.

Dit standaardmodel beschrijft hoe alle zichtbare materie zich gedraagt, aldus Hawking (178).

### *De oerknal als het ultieme kwantumexperiment*

Aan het einde van de 20<sup>e</sup> eeuw konden kosmologen dankzij de enorme technologische vooruitgang op het gebied van astronomische waarnemingen vaststellen, dat de oerknal de geboorte is van het heelal: 13.8 miljard jaar geleden (145). De oerknal was volgens Hawking het ultieme kwantumexperiment. Het kwantumveld was ongekend heet en superdicht. Het was een kosmische nucleaire centrale die uitbarstte.

Haar hitte – Hawking spreekt van naar schatting een miljoen miljard graden celsius - verspreidde zich na de oerknal over de kosmische ruimte. Aangezien de hitte vanaf de geboorte van het heelal door de uitdijende kosmos reisde, is de straling ijskoud wanneer ze ons vandaag bereikt, zo ongeveer 270° Celsius onder nul. Met onze hedendaagse moderne telescopen kunnen we waarnemingen verrichten naar hoe het heelal er ongeveer 380.000 jaar na de oerknal uitzag, toen het tot een paar duizend graden was afgekoeld (25). In een onvoorstelbare kosmische groeisput in een kleine fractie van een seconde vond er een enorme uitdijning van het heelal plaats (146). Na deze groeisput blijkt dat de uitbreiding van het heelal zich vervolgens heel sterk vertraagde. Volgens Hawking was dit een essentiële voorwaarde om als heelal een gastvrije plek voor het leven te kunnen worden. Nu konden de sterren, de aarde en het leven zich gaan ontwikkelen. Leven werd mogelijk door de golvende expansiecurve van een aarzelend heelal.

Met de oerknal is de *tijd* begonnen. We moeten de oerknal volgens Hawking zien als een dag zonder gisteren (51). De ruimte dijt uit, terwijl we tegelijkertijd sterrenstelsels van ons weg zien bewegen in de tijd en zwarte gaten waarnemen waarin sterren worden opgeslokt en verdwijnen. Het is de *ruimtetijd*, de verstrengeling van ruimte en tijd in Einstein's relativiteitstheorie. Hoe sneller iemand met zijn auto rijdt, hoe trager de beweging van de auto door de tijd. Wanneer die persoon dan terugkeert met de auto, zal haar klok een tikkeltje achter lopen op die van degene die toekeek.

In de relativiteitstheorie van Einstein blijken noties van lengte, tijd en gelijktijdigheid geen zuiver objectieve feiten te zijn, maar afhankelijk te zijn van het perspectief van de waarnemer (64). Maar als de tijd met de oerknal is ontstaan, is elke vraag naar wat daarvoor gebeurd is – de vraag naar de oorzaak van de oerknal - volkomen zinloos en is de relativiteitstheorie van Einstein ook niet meer geldig, aldus Hawking (89). Het vergt immers de notie van tijd om überhaupt van oorzaak en gevolg te kunnen spreken. Volgens Hawking moeten we daarom dit oorzakelijk denken over de oerknal verlaten

door met een kwantumkijk naar het ontstaan van de kosmos te kijken. De oerknal wordt dan gezien als het ultieme kwantumexperiment dat doordrengt is van onzekerheid en wazigheid en waarin de kijk op oorzakelijkheid en deterministisch oorzaak-gevolg denken à la Einstein niet meer geldt. Zowel in de oerknal als in zwarte gaten smelten de macrowereld van de zwaartekracht en de microwereld van atomen en deeltjes werkelijk samen en moeten we hier dus niet meer denken in termen van determinisme. De oerknal betekende het ontstaan van de tijd, maar ook het ontstaan van de natuurwetten die gelden in ons biofiel heelal. Ook die konden toen pas ontstaan.

De pijl van de tijd ontstond dus na de oerknal. Eieren breken, maar ze onbreken niet. Mensen worden ouder, niet jonger. Sterren imploderen tot zwarte gaten, maar komen er niet meer uit. Het is de teleologische kijk op *de pijl van de tijd* van Aristoteles. De pijl van de tijd komt voort uit het feit dat wanorde de neiging heeft steeds meer toe te nemen. Je kamer wordt bijna vanzelfsprekend wanordelijker, tenzij je er actief moeite voor doet om de orde te bewaren. Er zijn immers veel meer manieren waarop een kamer rommelig kan zijn dan netjes opgeruimd. De keurige orde is als variatie veel minder waarschijnlijk, omdat er veel meer mogelijke configuraties zijn dan die ordelijke (160). Er zijn dus veel meer manieren in systemen om rommelig te zijn dan om geordend te zijn. Complexe systemen hebben dan ook de neiging om te evolueren richting grotere wanorde (160). *Entropie* is de hoeveelheid wanorde in een fysisch systeem. Hoge entropie is grote wanorde. Lage entropie is het hoogst geordend. Ten tijde van de oerknal moet er dus sprake zijn geweest van een buitengewoon lage entropie, ongelooflijk geordend. Dat we vandaag dus laag-entropische eieren van kippen hebben om daarmee een omelet te maken, heeft volgens Hawking dus alles met de oerknal te maken. Sindsdien surfen we mee op zijn natuurlijke evolutie richting grotere wanorde en complexiteit.

#### *Het had ook anders gekund*

De evolutie had echter ook anders kunnen lopen. Het initiële kwantum droeg niet de hele daarop volgende geschiedenis van het heelal in zich. Integendeel, uit eenzelfde beginkwantum kunnen zich sterk uiteenlopende universums evolueren (91). Het is geen deterministisch veranderproces. Het oeratoom was van een opperste eenvoud en in de nasleep ervan was er sprake van allerlei willekeurige kwantumsprongen. Het was een waar *co-creatief proces* dat zich aftekende in de kosmische evolutie. Voor Hawking is dit vergelijkbaar met de *biologische evolutie*, de evolutie van de levende wereld die ongeveer 3,7 miljard jaar geleden ontstond. De ontwikkeling van soorten levende



organismen berust op talloze interacties en toevalligheden. Het is net als een potlood dat in een willekeurige richting omvalt (187).

Dit wil niet zeggen dat alles mogelijk is. De kwantumvelden in het vroege heelal zijn namelijk met elkaar vervlochten. Veranderingen in één veld beïnvloeden dus andere velden en zijn onderling met elkaar verweven. Dat begrenst de mogelijke paden die de kosmos kon bewandelen (188).

Maar de oerknal had dus ook anders kunnen uitpakken. Zo sloot de onverwachte ontdekking van kosmologen dat de uitdijing van het heelal versnelde, aan bij de al even verrassende theoretische ontwikkelingen die suggereerden dat de natuurwetten misschien toch niet zo vast lagen. Er kwamen meer en meer aanwijzingen dat tenminste sommige fysische eigenschappen van het heelal geen wiskundige noodzaak waren, maar toevalligheden die voortvloeiden uit de specifieke manier waarop dit heelal van zijn hete oerknal afkoelde. Als de hitte van de oerknal ietsjes lager was geweest, was er geen biofiel heelal ontstaan. Het werd Hawking almaar duidelijker dat de levensvriendelijke kosmische code niet zomaar bij de geboorte was vastgelegd, maar een overblijfsel was van een oeroude evolutie. De hele oerknal was precies goed voor de ontwikkeling van een biofiel heelal (27). Vanuit de kwantumfysica is bekend dat er zoiets bestaat als een *superpositie* van mogelijke opties waardoor deeltjes, nog vóóordat je ze waarneemt, op meerdere locaties tegelijk kunnen zijn. Zelfs de natuurwetten die nu een vaste vorm hebben aangenomen konden aanvankelijk nog van alles worden.

De kwantumtheorie begrenst wat men van fysische systemen *kan* weten. Het is een theorie over wat we weten, maar ook over wat we niet kunnen weten. Het laat de eeuwenoude droom van wetenschappelijk determinisme varen op grond waarvan men preciese voorspellingen meende te kunnen maken. We kunnen wel *verschillende mogelijke uitkomsten* voorspellen, maar geen zekerheden, aldus Hawking (119). De baan van een specifiek deeltje kunnen we niet voorspellen. Vergelijk het met misdaadgolven. Zoals de opkomst van een misdaadgolf in een dorp betekent dat het *waarschijnlijk* is dat er ergens in het dorp een misdrijf wordt gepleegd, zorgt een elektronengolf die piekt in je toestel ervoor dat je waarschijnlijk een elektron zult detecteren (120). Volgens Hawking (123) strookt de kwantumbeschrijving van deeltjes als abstracte golfachtige superposities van tegengestelde werkelijkheden niet met onze alledaagse ervaringen dat voorwerpen òf op de ene òf op de andere plek zijn. Toch is de werking van de *kwantumcomputer* hierop gebaseerd. In tegenstelling tot bits van gewone informatie die nul òf één zijn, bestaan qubits

uit kwantumdeeltjes die zich in een superpositie kunnen bevinden van nul *en* één. Als individuele qubits met elkaar interageren, raken hun mogelijke toestanden verstrengeld, zodat de kans om één of nul te zijn afhangt van de kansen daarop van de ander. Door steeds meer qubits met elkaar te verstrengelen, stijgt het aantal gelijktijdige mogelijkheden exponentieel. Daarom zijn kwantumcomputers in theorie zo krachtig (303).

Maar Hawking was nog niet tevreden. Want hoe passen *wij* in het verhaal van de kosmogeenese? Hoe objectief, tijdloos en onwrikbaar zijn de natuurwetten? Zijn het God-achtige fundamentele die wij als mensen waarnemen? Wat is de diepere oorsprong van de natuurwetten? We zijn zelf een onlosmakelijk onderdeel van het probleem dat we proberen op te lossen.

### **De plaats van de mens in de kosmische genese**

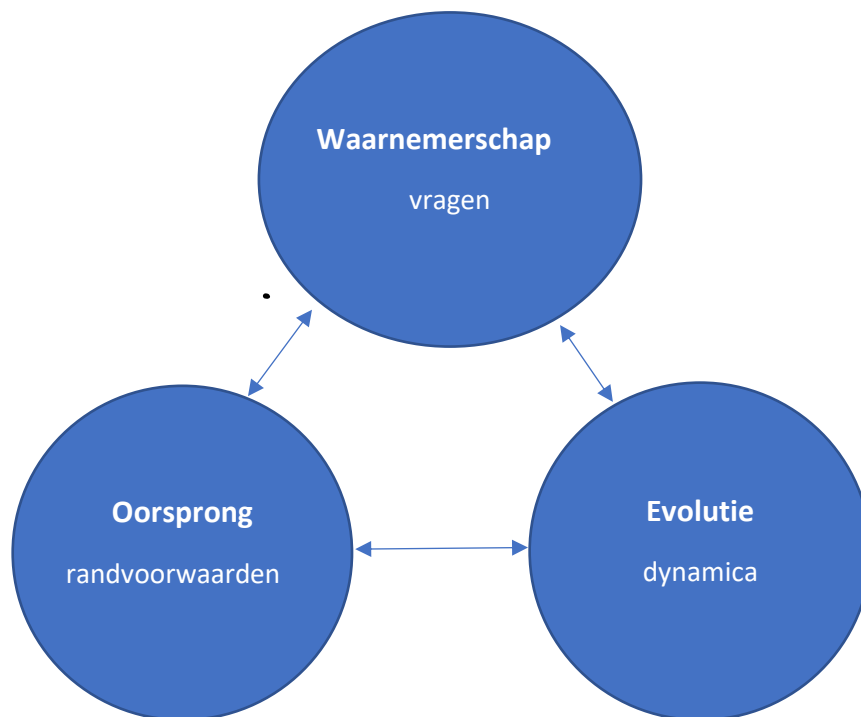
In de eerste paragraaf van dit essay zagen we dat Hawking afstand nam van het antropisch principe dat het universum zoals wij dat kennen zou hebben *geselecteerd*. Dit is een te subjectief principe: ieder zal er iets anders onder verstaan. Toch wilde hij anderzijds niet in een deterministische epistemologie terechtkomen en doen alsof we het heelal objectief kunnen vatten zoals met name Copernicus en Newton deden. We moeten niet vanuit een godenperspectief – vanuit de hoogte, top down – het heelal bevragen. Hawking ontdekte dat we het heelal *vanuit het binnenperspectief* – bottom-up – moeten bevragen. Op dat moment gaat het niet alleen om de wiskundige wetten en formules van de dynamica die de kosmogeenese voorspellen, maar moeten we die wetmatigheden koppelen aan de studie van de randvoorwaarden waaronder die wetten in de realiteit wel of niet geldig zijn. De objectivistische blik heeft ons vervreemd van de wereld. Het lijkt alsof wij mensen er niet meer in thuis horen. Als je uitgaat van een wetenschappelijke ontologie waarin wij zijn losgekoppeld van de meest fundamentele natuurkundige theorieën en van de kosmologie als zodanig, is het niet verrassend dat het heelal dat we met die theorieën ontdekken zinloos lijkt en dat zijn biofiel karakter totaal mysterieus en verwarrend blijft (219). Nodig is het ontwikkelen van een nieuwe filosofie die de natuurwetten en de randvoorwaarden met elkaar verbindt. Deze *holistische kosmologie* betekent dat wij en onze theorieën deel uitmaken van het heelal dat we beschrijven, aldus Hawking. De geschiedenis van het heelal hangt af van de vraag die je stelt. Er bestaat in het kwantumdenken geen waarnemersonafhankelijke werkelijkheid. De waarnemer en zijn metingen zijn een expliciet onderdeel van het proces om tot voorspellingen te komen. Het of-of denken zit echter ingebakken in de positivistische natuurkunde. Wie een

experiment doet, treft deeltjes hier *of* daar aan, niet zowel hier *als* daar tegelijkertijd zoals het kwantumdenken dat toelaat.

*Het drieluik van het kwantumdenken als theoretische hypothese*

Figuur 1 toont de architectuur van de kwantumkosmologie die uiteindelijk uit het onderzoek van Hawking zou voortkomen: een drieluik

**Figuur 1 Drieluik van Hawkings kwantumkijk op de kosmos**



De kwantumkijk op de kosmos is een onderling verstrengeld drieluik. Evolutie met haar universele natuurwetten beschrijven in theorie hoe systemen evolueren. De randvoorwaarden komen voort uit concrete waarnemingen en metingen. Ze verbinden de theorie met de concrete praktijk. De wetten kunnen we zien als de regels van het schaken. Die regels vertellen echter weinig over hoe een bepaald partijtje schaak precies verloopt (112). Het waarnemerschap is het proces waarbij op vertakkingspunten van het proces één specifiek resultaat uit een scala aan mogelijke uitkomsten wordt veranderd in een *feit* ((237). Dit gebeurt als gevolg van interacties die zich overigens zeker niet beperken tot menselijke waarnemingen. De waarneming kan door alles worden gedaan, bijvoorbeeld ook door een stukje kwarts. Het is de component van de *actieve keuze* die opereert als onderdeel van het veranderproces waarin de fysische werkelijkheid zich ontvouwt (239).

De koppeling tussen de drie componenten geeft aan, dat alle wetten in de kwantumkosmologie uiteindelijk voortkomen uit een mengeling van deze drie componenten. Het drieluik herstelt de subtiele link die de waarnemer en het waargenomene— de mens en de kosmos – met elkaar verbindt.

### **Kwantumdenken en veranderekunde**

Wat heeft de bovengenoemde reis met Stephen Hawking over het kwantumdenken in de fysica ons aan inzichten opgeleverd die kunnen helpen bij de verdere ontwikkeling van de sociale veranderekunde die zich richt op mens en samenleving?

Allereerst moet worden opgemerkt dat de kwantumfysica niet direct is gericht op sociale wetenschappen. We moeten dus heel voorzichtig zijn met het trekken van conclusies naar de sociale werkelijkheid. Indirect kunnen inzichten uit de kwantumfysica mogelijk wel relevant worden gemaakt voor mens en samenleving.

Voorzover de sociale veranderekunde de mens als veranderaar aanmerkt, vervult die in de kosmogeenese sowieso slechts een miniem bijrolletje. Interessant is echter dat Hawking in zijn drieluik het waarnemerschap als een basiscomponent van het veranderproces van de kosmos heeft opgenomen. Het waarnemerschap omschrijft hij, zoals gezegd, als *het proces waarbij op vertakkingspunten van het proces één specifiek resultaat uit een scala aan mogelijke uitkomsten wordt omgezet in een feit*. Hawking legt hiermee een relatie met het *teleologisch denken* in de kwantumtheorie over de kosmogeenese. Ook veranderen in de sociale sfeer is een proces dat veelal onbewust vervuld is van een bepaalde doelgerichtheid. Die onbewuste teleologische gerichtheid geldt ook voor de mens als onderdeel van die levende wereld. Maar die doelgerichtheid moet niet enkel aan mensen als actoren worden toegeschreven, ook aan alle levende organismen. De intentionaliteit van het handelen delen wij met alle andere levende wezens. In de sociale veranderekunde wordt die waarnemerspositie weliswaar handelingstheoretisch verder uitgewerkt naar de mens met zijn actieve bewustzijn waarmee hij de wereld om zich heen ook in bewuste zin beïnvloedt. Essentieel voor een brede visie op veranderen is het leggen van een verbinding tussen bewuste en niet-bewuste intentionaliteit van het handelen. Bovendien zal in elk onderzoek de onderzoeker altijd ook mee zichzelf als waarnemer en beïnvloeder moeten onderzoeken.

In de uitwerking van het intentionele karakter van het handelen moet de sociale veranderkunde evenwel niet vervallen in een eenzijdig antropocentrisch perspectief. De zelforganisatie van het biofiele universum waarin wij leven kent objectieve natuurwetten, vervat in prachtige wiskundige formules die, zoals gezegd, bijna perfect op het leven zijn afgestemd en die niet zijn toe te schrijven aan enkel de werking van de menselijke geest. Tegelijkertijd kunnen we er epistemologisch gezien niet omheen dat *wij* het zijn die deze wetmatigheden opsporen en die deze waarnemingen en experimenten verrichten. Wij zijn dus altijd ook een onderdeel van elke theorie over de kosmogeenese, over de biogenese en over de veranderkundige vraag hoe verschijnselen in de wereld zich procesmatig ontwikkelen. Het ontologisch discours in de wetenschap moet worden aangevuld met een epistemologisch perspectief dat de vraag stelt naar de waarheid van uitspraken. Dat vraagt om aandacht voor de spanningsvolle verbinding tussen realistisch en constructionistisch denken. In de ontologische visie van de kwantumfysica staat het geloof in objectieve, universele natuurwetten nog steeds centraal, maar dan met de kritische Hawking-toevoeging dat je ook de randvoorwaarden moet bestuderen om te weten onder welke condities een bepaalde wetmatigheid optreedt en dat je tevens rekening moet houden met het waarnemerschap dat daarin een rol speelt.

Een ander punt van overdenking betreft het *complexiteitsdenken* in de kwantumfysica. Ook hier ligt een interessant en belangrijk leerpunt voor de sociale veranderkunde. Het complexiteitsdenken laat, zoals gezegd, de eeuwenoude droom van wetenschappelijk determinisme varen waardoor meer preciese voorspellingen als mogelijke uitkomsten kunnen worden gemaakt. Deze opstelling is meer bescheiden, omdat wordt erkend dat de baan van een *specifiek* deeltje niet kan worden voorspeld. Er bestaat dus geen objectieve evidentie dat een bepaalde handeling in een specifieke situatie zal leiden tot een vooraf te bepalen uitkomst. Het electron doet gewoon waar het zin in heeft. Het gaat in elke richting, met elke snelheid, vooruit of terug in de tijd, net hoe het hem zint, en dan tel je de amplituden (van hun paden) op en dat geeft je de golffunctie, zo lezen we (125).

Bovendien blijken tegengestelde werkelijkheden in het kwantumveld, zoals gezegd, tegelijkertijd waar te kunnen zijn. Het gaat hier om een *holografische dualiteit* (263). Zo blijken de relativiteitstheorie van Einstein en de kwantumtheorie ogenschijnlijk tegenstrijdige theorieën te zijn, maar kunnen ze volgens Hawking symbiotisch met elkaar samenwerken (281). Natuurlijke systemen kunnen tegelijkertijd een gravitationeel en een kwantumkarakter

hebben, zegt de holografie, zij het in verschillende dimensies (282). Een subtiel kwantumfenomeen is de *kwantumverstrengeling* (291). Paren van deeltjes en antideeltjes behouden ondanks hun afstand een kwantummechanische verbinding met elkaar. Natuurkundigen zeggen dat ze ‘verstrengeld’ blijven en op een subtiële manier hun individuele eigenschappen op elkaar afstemmen. Deze kwantumverstrengeling genereert *emergente* verschijnselen. Interessante gedachten om de communicatie tussen mensen op deze aspecten te bevragen.

In het holografisch denken dringt zich een analogie op met het oxymoron-denken in de sociale veranderekunde: twee tegengestelde werkelijkheden die tegelijkertijd als wederkerig spanningsveld werkzaam zijn en die uitmonden in verschillende mogelijke uitkomsten welke tevoren niet vastliggen. In het sociale domein lijkt dit proces des te sterker te gelden, omdat een mens door zijn zelfbewustzijn steeds anders kan besluiten dan de regel voorschrijft, zeker als die regel bij die betrokkene bekend is en men geen commitment heeft met die regel. Erkenning van het wederkerig spanningsveld van tegengestelde werkelijkheden impliceert dat we het ‘of-of denken’ dat volgens Hawking zo ingebakken zit in het positivisme, moeten loslaten en moeten leren denken in termen van ‘en-en’.

De oude reductionistische droom van de fundamentele natuurkunde is hiermee in rook opgegaan. De holografische kosmogeenese schetst een ander beeld. Zij verankert een vleugje emergentie in de diepste wortels van de natuurkunde. Het stelt dat zelfs de elementairste wetmatigheden uiteindelijk hun wortels vinden in de complexiteit van het universum rondom ons. Holografie schetst een beeld waarin de fysische werkelijkheid niet alleen bestaat uit tastbare dingen, maar ook uit een nog veel abstractere identiteit: de *kwantuminformatie* (302).

Dit holografisch kwantumdenken ziet Hawking als een *hypothetische* top-down visie van de theoretische natuurkunde op de werkelijkheid. Hawking wil het heelal *van binnenuit* begrijpen en zoals gezegd niet vanuit een godenperspectief van buitenaf. In zijn bottom-up benadering gaat hij inductief te werk bij zijn onderzoek. Maar als je zo te werk gaat, kun je volgens Hawking alleen maar hopen dat het heelal er ongeveer uit komt zien als het heelal waarin wij wonen (249). In zijn top-down benadering vertrekt hij vanuit een *deductieve visie* op de samenhang van heel het leven. Volgens Hawking is het zaak om de inductieve benadering en de deductieve benadering van onderzoek doen met elkaar te combineren om de kans op overeenstemming met de werkelijkheid te vergroten.

Veranderprocessen in complexe systemen hebben, zoals gezegd, vanuit zichzelf de neiging te evolueren richting grotere wanorde. Het teleologisch denken in de veranderkunde vergroot dan ook de wanorde en de complexiteit van het systeem door haar aandacht voor de diversiteit aan doelrichtingen in het handelen van mensen. Voor het scheppen van een balans in het systeem is het dan ook essentieel dat veranderkundigen vanuit een samenhang-denken – top down – orde in het systeem pogen te verkrijgen. Die conceptuele éénmaking van bottom-up en top-down denken kunnen we zien als basis van veranderkundig onderzoek.

## Vragen

In dit korte essay over het kwantumdenken van Hawking in de theoretische natuurkunde blijven veel kwesties natuurlijk onbeantwoord. Denk aan de mysterieuze werking van zwarte gaten, de mogelijke tijdelijkheid van het heelal of de complexe relatie tussen mens en kosmos. Voor wat betreft de relevantie van het kwantumdenken voor de sociale veranderkunde zijn voor mij op dit moment onder meer de volgende vragen relevant.

Allereerst betreft dit de *status van de mens als veranderaar*. In de kwantumtheorie krijgt de mens zijn status als waarnemer weliswaar terug in dezelfde lijn als dat geldt voor alle levende wezens. Maar is langs deze wetenschappelijke weg de humanisering van mens en samenleving in goede handen? Wie is eigenlijk 'de mens als waarnemer' en hoe beïnvloedt die zijn natuurlijke en maatschappelijke werkelijkheid? Is Hawkings visie inderdaad een 'menselijke kijk' op de wereld in de vorm van een gezichtspunt van binnenuit, zoals hij beweert (313)? De top-down kosmologie van Hawking vermijdt niet alleen het verdwalen in de wiskundige formules van de natuurwetten, maar ook in de valkuilen van het antropisch principe. Het belichaamt de visie dat helemaal onderaan, op het kwantumniveau, het heelal zijn eigen levensvriendelijkheid vormgeeft, zo lezen we (315). Maar hoe ziet die levensvriendelijkheid er heden ten dage dan uit?

De vraag blijft wat de plek van de mensheid is in de wisselwerking met de fysische en biologische ontwikkeling van de levende kosmos. De kosmogeenese is niet opgehouden met het ontstaan van de mens. Zij heeft er een belangrijke speler bij gekregen. Heeft dit mensgericht perspectief in normatieve zin wel voldoende plek in dit kwantumdenken?

Wat betekent het als we vanuit een biologisch kwantumperspectief naar de betrekkingen tussen mensen kijken? Zouden we kunnen zeggen dat bijvoorbeeld een duo van twee mensen als hologram beter is afgestemd op de complexiteit van de situatie als ze zich in de superpositie begeven van 'nul én één'? Als ze niet denken in termen van 'òf dit òf dat', maar dat ze bij het nemen van een beslissing beide opties open houden totdat het besluit valt? Neem de beslissing om al of niet een kind met elkaar te verwekken. De een zegt vandaag 'nee', de ander zegt 'ja'. Op een volgend tijdstip zegt de een 'ja' en de ander 'nee', maar tezamen blijven ze voorlopig beide opties openhouden totdat het moment er is dat ze het besluit nemen of totdat ze een derde optie als mogelijkheid kiezen. Wat leert ons met andere woorden het kwantumdenken over sociale verschijnselen?

En hoe zit het met de kwantumtechnologie? Is deze wel zo geschikt voor het verbeteren van de afstemming tussen mens en natuur? In het boek wordt een zeer optimistische kijk op de moderne wetenschap gegeven en wat die nog allemaal zal ontdekken. De auteur wijst evenwel op de laatste pagina's ook op de risico's van bijvoorbeeld een kernoorlog, de klimaatopwarming, de ontwikkeling van de biotechnologie et cetera. Toch biedt Hawking een krachtige kiem van hoop, zo lezen we (326). Maar welke maatschappelijke belangen gaan er schuil achter het kwantumdenken en de toepassingen ervan in de samenleving? Tot nu toe getuigt de geschiedenis van de technologie ervan dat de mensheid vooral in de westerse geïndustrialiseerde samenlevingen de natuur en daarmee ook zichzelf ten grond aan het richten is. Hoezo 'thuiskomen in het universum'? Wordt de vrijheid en de zelfregie van mensen niet steeds meer overgenomen door de machine/computer in onze poging om de wereld om ons heen meer te kunnen beheersen en aan ons te onderwerpen? Gaat het hier niet om een zelfvernietigende ontwikkeling? De relatie tussen de kwantumfilosofie en het maatschappijkritisch paradigma is voor mij een buitengewoon urgente kwestie.

Gerard Donkers 2023