

QUANTUM CHANGING IN DE BIOLOGIE

Al-Khalili en Mcfadden 'Hoe leven ontstaat' (2015)

Dr. Gerard Donkers 2024

INTRO

De publicatie *Hoe leven ontstaat* van Jim Al-Khalili en Johnjoe Mcfadden (2015) beweegt zich op het snijvlak van kwantummechanica en biologie en gaat over *kwantumbiologie*.

Kwantumbiologie bestudeert biologische aspecten en processen waar vervolgens de kwantumtheorie op wordt toegepast. De kwantummechanica beschrijft het gedrag van materie en energie met interacties van *kwanta* op atomair en subatomair niveau. Materie blijkt niet enkel te bestaan uit deeltjes met een bepaalde vorm en afmeting, zoals in de traditionele fysica wordt verondersteld, maar moet worden voorgesteld als een *kwantumveld*, dat wil zeggen als deeltjes die functioneel met elkaar verbonden zijn via een electromagnetisch veld. Een kwantum is zowel een deeltje als een *golf* welke continu beweegt. Daardoor zien we dat verschillende deeltjes zich kunnen gedragen als *één* object, zelfs als ze lichtjaren van elkaar zijn gescheiden. Bij dieren zien we de mogelijkheid om zich te oriënteren op het aardmagnetische veld tijdens het zich verplaatsen in de ruimte. De variabiliteit van het kwantumveld blijkt ook te worden beïnvloed door de waarnemer zelf. In die zin bestaat er volgens de auteurs¹ van dit boek geen waarnemersafhankelijke werkelijkheid. Zodra we een deeltje meten, gaat het zich anders gedragen.

In de theorielij van het landelijk platform sociale veranderingkunde (LPSV) zijn we de vorige keer ingegaan op het kwantumdenken in de kosmogeenese van Stephen Hawking. Dat heeft geresulteerd in de notitie *Kwantumdenken in de kosmogeenese* (zie www.zelfregie.com bij 'Platform sociale veranderingkunde' onder 'documenten'). Dat voelde als een logisch begin. De ontwikkeling van de kosmos gaat in tijd ver vóóraf aan de ontwikkeling van levende wezens zoals de mens en ligt er ten diepste aan ten grondslag. In die zin kunnen we stellen dat de kosmogeenese in de tijd gezien aan de basis ligt van de sociale veranderwetenschap die zich bezighoudt met mens en samenleving en onderzoek doet naar haar verandervermogen.

Met de aandacht voor het kwantumdenken in de biologie bouwen we in zekere zin voort op de ideeën van Stephen Hawking. Hawking ziet de manier waarop de kosmos zich ontwikkelt als een niet-deterministisch biologisch evolutionair veranderproces waarin alles aan elkaar verwant is en er sprake is van natuurlijke selectie en variatie zoals in het Darwinisme. In de evolutionaire ontwikkeling van de kosmos vanaf de oerknal speelt naast de evolutionaire natuurwetten en de concrete randvoorwaarden volgens Hawking ook het waarnemerschap van de actoren een essentiële rol (zie het drieluik in zijn kijk op de kosmos in de genoemde notitie op pagina 11).

Voortbouwend op deze benadering van Hawking stelt zich dan ook de vraag naar het kwantumdenken in de biologie en daarin vooral ook naar de Darwinistische biologie. In die

¹ De tekst in dit document berust geheel op uitspraken en inzichten zoals die staan beschreven in het boek van Al-Khalili en Mcfadden. Eventuele notities van mijn kant staan tussen haakjes en in een ander lettertype beschreven.

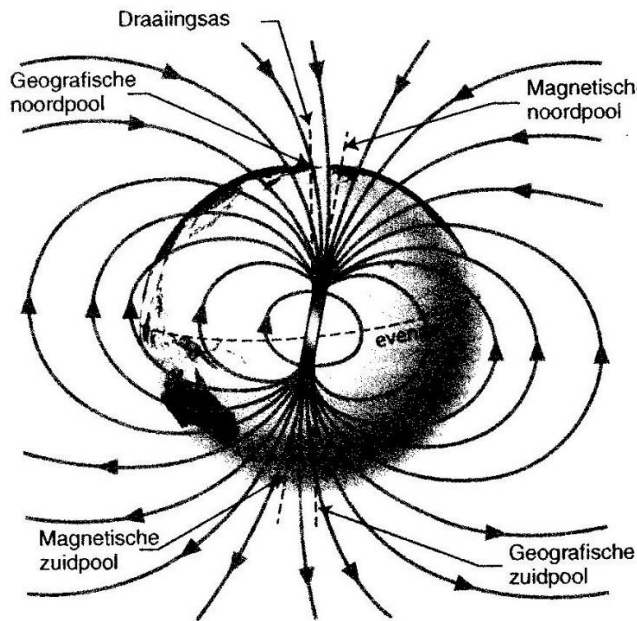
zin is het bestuderen van de publicatie van Jim Al-Khalili en Johnjoe Mcfadden een logisch volgende stap in de vraag naar de relatie tussen het hedendaagse kwantumdenken in de kwantummechanica en de grondthema's van sociale veranderingkunde.

HOOFDSTUK 1: INLEIDING IN DE KWANTUMBIOLOGIE

Het roodborstje heeft de afgelopen weken veel meer dan haar normale portie insecten, spinnen, wormen en bessen gegeten. Dit extra voedsel heeft ze nodig als brandstof voor de zware reis die ze op het punt staat te ondernemen, weg van het bos in Scandinavie, waarin ze haar jongen heeft grootgebracht en daar nu rustig kan gaan vertrekken. Ze gaat de winter ontvluchten door zuidwaarts te trekken. Ook de andere roodborstjes hebben besloten dat dit een goede nacht is om de lange reis naar het zuiden - ergens bij de Middellandse Zee – te beginnen. In het voorjaar keren ze in het bos in Scandinavie op dezelfde plek weer terug.

In de loop van de evolutie heeft het roodborstje een heel opmerkelijk vermogen ontwikkeld waardoor ze die reis van 3000 km kan maken. En een dergelijk vermogen zien we bij vele soorten vogels, walvissen, kariboes, langoesten, kikkers en bijen. Maar hoe is dit mogelijk? We zien dat deze dieren allerlei methoden hebben ontwikkeld zoals: het zich oriënteren op de zon of de sterren, interne oriëntatiepunten, reukvermogen of zoals bij het roodborstje dat zich kan oriënteren op het *aardmagnetische veld*. Dat zit in haar DNA: het vermogen om het zeer zwakke magnetische veld van de aarde waar te nemen en daar richtingsinformatie aan te ontleen: een soort chemische kompas. Dat magnetisch veld moet van invloed zijn op een chemische reactie in het lichaam van het dier. Dat blijkt bij alle levende wezens ook het geval te zijn. Ook wij als mensen nemen het uiterst zwakke signaal van het aardmagnetische veld (van buitenaf) waar. Maar hoe kan dat? De Duitse natuurkundige Max Planck ontdekte in 1900 dat de chemische energie uit losse pakketjes of 'kwantums' bestaat. Daarmee was de kwantumtheorie geboren. Die leidde tot een ware revolutie in de biologie. Tot dan toe leek er geen moleculair mechanisme te bestaan, waardoor een dier het aardmagnetische veld zou kunnen waarnemen.

Om te begrijpen hoe dit kompas zou kunnen werken, moeten we wijzen op het bestaan van *aardmagnetische veldlijnen*, de onzichtbare sporen die de richting van een magnetische veld bepalen en waarlangs de naald van een magnetisch kompas zich zal richten als hij ergens in het veld wordt geplaatst. Zo kun je de aarde voorstellen als een gigantische staafmagneet (zie figuur 1.1).



Figuur 1.1 Het aardmagnetisch veld.

Het magnetisch zintuig van het roodborstje werkt als zo'n kompas (een *inclinatiekompas* genoemd). Maar hoe kon zo'n dier dat magnetisch veld dan ontdekken? De verklaring kwam vanuit de vreemde wetenschap van de *kwantummechanica*.

Een verborgen spookachtige werkelijkheid

De kwantummechanica verschaft ons een opmerkelijk volledig beeld van de bouwstenen van het hele universum. Wijdverbreid is het idee dat dit een verbijsterende en moeilijke tak van wetenschap is die slechts door een superslimme minderheid van mensen kan worden begrepen. Maar het kwantumdenken is momenteel een deel van heel ons leven. Het ontwikkelde zich in de jaren twintig als een wiskundige theorie om de wereld vanuit de microkosmos van het atoom en haar deeltjes te verklaren. Zo beschrijft de kwantummechanica de wetten die de elektronen in een atoom volgen en hoe ze zichzelf ordenen binnen zo'n atoom. Daarmee legt het kwantumdenken de grondslag van alle scheikunde, materiaalleer, satellietnavigatie, mri-scanners, smartphones en andere vormen van electrotechniek. De kwantumrevolutie zal in de 21^e eeuw leiden tot onvoorstelbare veranderingen in ons leven op het gebied van bijvoorbeeld kunstmatige intelligentie, geneeskunde en biochemie. Maar wat is kwantummechanica?

Kenmerkende eigenschappen van de kwantummechanica kunnen we illustreren met een *viertal voorbeelden*.

Een eerste voorbeeld verwijst naar de meest kenmerkende eigenschap van een kwantumveld: de *dualiteit van deeltjes en golven* (een én-én verhaal). Energie zoals licht of geluid neemt niet de vorm aan van deeltjes (vaste elementen), maar van golven. Golven zijn diffuus en niet zichtbaar corpusculair. Ze verplaatsen zich door de ruimte. Dat zie je ook in de

deeltjes van een atoom, bijvoorbeeld bij de electronen. Die kunnen zich als golven gedragen en die golven kunnen zich als deeltjes gedragen. Electronen functioneren dus in de dualiteit van golf en deeltje. Dit kun je niet zien met een optische microscoop, maar wel met een electronenmicroscoop.

Een tweede voorbeeld van het bestaan van een verborgen kwantumrealiteit is het *schijnen van de zon*. De zon is in wezen een kernfusiereactor die waterstofgas verbrandt, waarbij warmte en zonlicht vrijkomen die alle leven op aarde in stand houden. Maar de zon zou hier niet schijnen zonder de kwantumeigenschap die deeltjes in staat stelt om 'door muren heen te breken'. De kern van een waterstofatoom bestaat immers slechts uit één positief geladen deeltje: een proton. Die protonen (die kernen van waterstofatomen) kunnen fuseren met als gevolg dat er energie vrijkomt in de vorm van *electromagnetische straling* die wij 'zonlicht' noemen. Hoe dichter die protonen bij elkaar komen, hoe sterker ze elkaar gaan afstoten, omdat ze beide immers positief geladen zijn. Ze moeten door een schijnbaar ondoordringbare energetische barrière om de *kernfusie* mogelijk te maken. In de klassieke natuurkunde (denk aan Newton en Einstein) werd dit niet voor mogelijk gehouden. Maar de atoomkernen hebben een leuk kunstje achter de hand. Ze kunnen die barrières passeren door middel van een proces dat *kwantumtunneleffect* wordt genoemd. Ze kunnen dat kunstje dankzij hun *golfdeeltjesdualiteit*. Zoals golven in het water om objecten, bijvoorbeeld een kiezelsteen, heen kunnen stromen, zo kunnen ze ook dóór objecten heen stromen. Vergelijk het met de geluidsgolven die door de muren gaan als je de tv van je bureaus hoort. Natuurlijk gaat de lucht waardoor die geluidsgolven zich voortplanten zelf niet echt door de muren heen; het zijn de trillingen in de deeltjes die aan jouw oor worden doorgegeven.

Een derde voorbeeld van het bestaan van een verborgen kwantumrealiteit is het verschijnsel dat *superpositie* wordt genoemd, waarbij deeltjes twee of meer dingen tegelijk kunnen doen. Niet lang na de oerknal bestond er slechts één soort atoom, waterstof, met de simpelste structuur van één positief geladen proton en één negatief geladen electron. In de *kern* van dit atoom 'waterstof' zitten twee deeltjes: protonen en neutronen (electrisch neutrale deeltjes). Superpositie houdt in dat die neutronen protonen blijken te kunnen worden en omgekeerd. Als twee protonen samenkomen, zal één van de twee in een neutron veranderen en dan kunnen ze zich met elkaar verbinden tot een *deuteron*, waarna nog meer kernreacties het mogelijk maken dat andere, zwaardere elementen dan waterstof kunnen ontstaan, zoals helium, koolstof, stikstof en zuurstof. Aldus kon het universum steeds complexer worden. Het deuteron dankt zijn bestaan aan zijn vermogen om tegelijk in twee toestanden te bestaan. De beide deeltjes dansen in het deuteron niet samen in ofwel de ene of de andere toestand, maar zijn beide toestanden tegelijkertijd. We weten dit omdat in vele laboratoria steeds opnieuw is bevestigd dat het proton en het neutron anders geen verbinding met elkaar kunnen maken. Pas als de twee toestanden over elkaar heen worden gelegd en de twee realiteiten tegelijkertijd bestaan, blijkt de verbindende kracht sterk genoeg. Door dit vermogen tot superpositie is alles kunnen ontstaan: van sterrenstelsels tot wij als mensen.

Een laatste voorbeeld van het bestaan van een verborgen kwantumrealiteit zien we in de *technologie*. Wanneer we in ons lichaam kijken via Magnetic Resonance Imaging (MRI-scans) kunnen we bijvoorbeeld tumoren in interne organen ontdekken. Deze techniek maakt

gebruik van de werking van het kwantumveld. Door middel van sterke magneten worden de assen van de ronddraaiende kernen van de waterstofatomen in het lichaam van de patiënt dezelfde kant op gericht en vervolgens gebombardeerd met een puls van radioactieve golven die de gelijkgerichte kernen dwingt om in die vreemde kwantumtoestand te verkeren, waarbij ze in beide richtingen tegelijk draaien. We kunnen ons dat visueel onmogelijk voorstellen. Waar het om gaat, is dat er energie vrijkomt wanneer de atoomkernen weer terugkeren naar hun oorspronkelijke toestand doordat de energiepuls stopt.

Kwantumbiologie

Het magnetische zintuig van het roodborstje werkt dus als een kompas. Maar hoe werkt dan zo'n kompas? Dat heeft met lichtdeeltjes te maken.

In dat kompas is er sprake van *kwantumverstremgeling*: het kompas van de vogel werkt via een verstrengelingsmechanisme. Dat zorgt ervoor dat deeltjes die ooit bij elkaar hoorden, met elkaar in direct contact blijven, ook al zitten er enorme afstanden tussen. Ze blijven nog steeds met elkaar verbonden. Als je één van de deeltjes bij wijze van spreken een por geeft, zou dat ertoe leiden dat zijn verre partner *onmiddellijk* schrikt. Het is een spookachtige werking op afstand. Met die kwantumverstremgeling zouden paranormale verschijnselen zoals telepathie verklaard kunnen worden, zo wordt beweerd, maar dat is onjuist (23). (Mij wordt niet duidelijk waarom dit volgens de auteurs onjuist is)

Men ontdekte dus dat gepaarde lichtdeeltjes (fotonen) in een verstrengelde polarisatietoestand kunnen komen. Geen van de beide lichtdeeltjes van het verstrengelde paar wees de ene of de andere kant op: ze wezen allebei de beide kanten tegelijkertijd op, *tot ze gemeten werden*. Die deeltjes kunnen dat alleen als er dus niemand kijkt. Zodra ze worden gemeten, verliezen ze hun vreemdheid en gedragen ze zich als gewone objecten die wij om ons heen zien. *Meting* – dat betekent dat we niet meer onzeker zijn over de locatie van het deeltje - bevindt zich op de grenslijn tussen de kwantumwereld en de klassieke objectwereld: de *kwantumgrens* waar ook het leven zich bevindt. Bij meting neemt het lichtdeeltje slechts één polarisatierichting aan en dat doet het partner-deeltje ook hetzelfde en wel in de tegenovergestelde richting.

Het vogelkompas blijkt te berusten op een kwantummechanisme. In de ogen van de dieren blijkt een raadselachtige lichtreceptor (cryptochroom genoemd) te zitten. Dat is een eiwit dat mogelijk radicale paren (die *paars-gewijs* in een baan rond het atoom cirkelen) kan genereren. Dat eiwit kan zorgen voor een kwantumkompas in het vogelooi.

Als kwantummechanica normaal is, waarom is kwantumbiologie dan opwindend?

Kwantumeigenschappen doen zich dus niet alleen voor in het hart van de zon of in bepaalde instrumenten, maar ook in de biologie. We kunnen ons afvragen of in de kern van de zaak niet alles, inclusief wijzelf als mensen en andere levende wezens, berust op kwantummechanica. Natuurlijk gelden de wetten van de kwantummechanica primair op het meest microscopische niveau van de biologie waar het gaat om het gedrag van atomen. Maar hebben die microscopische processen dan geen effect op processen van grotere schaal die van belang zijn voor het leven? Het boek dat je leest en hoe je loopt, praat, eet en denkt

wordt uiteindelijk noodzakelijkerwijs bepaald door kwantummechanica. Maar kennis van die microscopische wereld hoef je niet te weten om bijvoorbeeld iets in je omgeving of in jezelf te veranderen. Maar waarom ligt er dan een grens tussen deze beide werelden?

Dat hangt samen met het genoemde verschijnsel van de *kwantummeting*: bij metingen (en die worden ook verricht door moleculen) raakt iets zijn kwantumeigenschappen kwijt. Dat doet de wereld die wij om ons heen zien normaal lijken. Wil je die vreemde kwantumeigenschappen zien, dan moet je ofwel naar bijvoorbeeld het inwendige van de zon toe gaan of met instrumenten diep in de microwereld kunnen turen. Alle vreemde kwantumeigenschappen worden weggespoeld in het willekeurig georiënteerde en voortdurend bewegende moleculaire inwendige van de zichtbare levenloze objecten om ons heen (29).

Maar de laatste jaren hebben we veel meer kennis gekregen over kwantumverschijnselen in de biologie: niet alleen bij vogels, maar bijvoorbeeld ook in de manier waarop planten het zonlicht opvangen. Zelfs ons reukvermogen en onze genen kunnen gebaseerd zijn op die vreemde kwantumwereld. Het lijkt dat aspecten van de kwantummechanica zelfs een cruciale rol spelen bij het verschijnsel *leven*. Maar wat is leven eigenlijk?

HOOFDSTUK 2: WAT IS LEVEN?

Leven is het meest bijzonder en raadselachtig gegeven van het universum. Nog nooit heeft iemand leven kunnen opwekken uit dode natuur. Wat dat betreft is ons verandervermogen fundamenteel beperkt. Maar hoe is dat leven dan ontstaan? Hawking stelde zich ook deze vraag.

In de vele ruimtemissies hebben ze voornamelijk gesteente ontdekt... veel gesteente. Maar *de aarde als de lichtblauwe stip in het heelal* heeft als meest opmerkelijke eigenschap dat al die verschillende grondstoffen waaruit de planeet bestaat zich met elkaar hebben gecombineerd om leven te creëren (33). Wij als mensen zijn een buitengewoon opmerkelijk organisme met verbluffende prestaties van zien, ruiken, horen of nieuwe dingen maken. Als je bijvoorbeeld opkijkt naar de nachthemel, vallen er lichtfotonen in je ogen, die door het weefsel van je netvlies worden omgezet in minuscule elektrische stroompjes die via je oogzenuwen naar het zenuwweefsel van je hersenen gaan. Daar genereren ze een flikkerend patroon van vurende neuronen, dat jij ervaart als de flonkerende ster aan de hemel boven je. Tegelijkertijd registreren de haarcellen in je binnenoor minuscule drukvariaties van minder dan een miljardste van de atmosferische druk, die signalen in de gehoorzenuw opwekken die je vertellen dat de wind in de bomen ruist. Een handjevol moleculen dat je neus binnendrijft wordt opgepikt door gespecialiseerde reukreceptoren, waarna hun chemische identiteit wordt doorgegeven aan je hersenen, wat jou informeert dat het zomer is en dat de kamperfoelie in bloei staat. En iedere kleine beweging van je lichaam, terwijl je naar de sterren kijkt, naar de wind luistert en de lucht opsnuift, wordt gegenereerd door het samenspel van honderden spieren.

Maar hoe buitengewoon ook, de fysieke prestaties van de weefsels van ons eigen lichaam verbleken bij de vele prestaties van andere levende mede-wezens. Vogels kunnen vliegen en de weg vinden over duizenden kilometers en apen kunnen door de bomen slingeren. Alle levende organismen hebben zo hun eigen vaardigheden en specialiteiten, maar er is één

menselijk orgaan waarvan de prestaties ongeëvenaard zijn: de hersenen, het grijze vlezige materiaal in onze benige schedel. Die 'weten' zelfs dat ze bestaan!

En toch bestaat al dit levend materiaal uit min of meer dezelfde atomen. De grote vraag is hoe de inerte atomen en moleculen die we aantreffen in gesteente dagelijks worden omgezet in rennend, vliegend, denkend, lachend, lerend en veranderend levend materiaal. Dat is ongekend, omdat mensen zelf nog nooit iets levends hebben gemaakt van louter levenloze materialen. Onze kennis over leven is uitermate onvolledig.

Een van de ontbrekende puzzelstukjes is te vinden in de wereld van de kwantummechanica waar objecten op twee plaatsen tegelijk kunnen zijn en door schijnbaar ondoordringbare barrières heen kunnen gaan. Het is de wonderlijke diepte van de kwantumwereld. Maar wat is er dan zo bijzonder aan 'leven'?

De 'Levenskracht'

Wat is het dat het lichaam levend maakt? Het is een of andere kracht. Het concept *ziel* zoals dat tot in de middeleeuwen werd gebruikt, brengt ons niet verder. Want waar komt die kracht dan vandaag? Vanuit het levend wezen intern of vanuit de omgeving?

Na de middeleeuwen was er sprake van een revolutie in het denken. Toen kwam de leer van de beweging op die werd vervat in wiskundige formules (Galilei, Newton). De ontdekte krachten werden gelijkgesteld met het concept *energie*: kinetische energie, zwaartekracht van de aarde, magnetische krachten, warmte, licht... allemaal energiegolven als de *onzichtbare* krachten, naast de zichtbare materie.

De triomf der machines

Descartes in de 17^e eeuw beweerde dat de lichamen van mensen en dieren niet meer waren dan complexe machines, aangedreven door mechanische middelen zoals pompen (bijvoorbeeld pompen van het hart), zuigers, tandwielen et cetera. Alleen de menselijke geest vormde volgens hem een uitzondering op dit mechanistisch wereldbeeld. Descartes kende hier een onsterfelijke ziel aan toe. Dieren verschillen volgens hem niet veel van de met kolen gestookte locomotieven die gebruikelijk waren in de industriële revolutie.

Volgens de 19^e eeuwse natuurkundige Ludwig Boltzmann bestond alle materie uit deeltjes – een chaotische verzameling van botsende en willekeurig bewegende biljartballen – die Newtons mechanische wetten van de thermodynamica gehoorzaamden. In wezen werkt zo ook onze auto, een maaltijd bereiden en het sturen van een raket naar de maan, weliswaar niet op basis van stoom, maar door verbranding van bijvoorbeeld benzine. Het is een uitwisseling van warmte, op moleculair niveau gedreven door thermodynamische principes die gebaseerd zijn op willekeurige, door de kracht van de chaos veroorzaakte, beweging van moleculen. Feitelijk worden alle niet-biologische (fysische en chemische processen) die voor verandering in onze wereld zorgen, gedreven door thermodynamische wetten.

Maar geldt dit ook voor het leven? Het leven van een vogel, vis of mens kunnen we zien als een denkbeeldig doe-het-zelf project dat zichzelf in stand kan houden en kopieën van zichzelf maakt. (Zelfregie is dus eigen aan leven). Dat doet het door de vrije energie van willekeurige botsingen tussen moleculen die afkomstig zijn uit voedsel, te verzamelen. Maar

is het leven dan niet meer dan een tak van de thermodynamica? Zijn het dezelfde processen waardoor een stoomlocomotief wordt aangedreven?

Dieper in het leven turen

In de 19^e eeuw ontdekte men dat alle levende lichamen bestonden uit levende cellen en cellulaire eenheden. Dat zijn de bouwstenen van elk levend weefsel. Cellen dus als de fundamentele elementen van levend weefsel. Elke cel is een vitale eenheid die alle kenmerken van het leven in zich heeft. De interne structuur van die cellen bleek bijzonder complex te zijn. Elke cel heeft in het midden een kern, gevuld met chromosomen en omringd door 'organellen', gespecialiseerde subeenheden die bepaalde functies in de cel vervullen. De hele cel lijkt wel een bedrijvig miniatuurfabriekje. Maar wat houdt de cel op gang? Wat 'bezielt' de cel? Er blijken allerlei chemische stoffen in de cel te zitten, stoffen die we ook in levenloze materie aantreffen. Dus lijkt het leven aan het eind van de 19^e eeuw niet meer te zijn dan een complexe vorm van thermodynamica, een biochemisch proces.

Genen

Maar hoe kunnen levende wezens dan een kopie van zichzelf maken? Hoe kan het zaad van de haan de kip uit het ei van de hen voortbrengen? Er blijken aan het begin van de 20^e eeuw erfelijke factoren ontdekt te zijn (genen) die vrijwel onveranderd van de ene op de andere generatie (bijvoorbeeld de generatie kippen) worden overgedragen. De genen blijken *in de chromosomen* van de levende cel te zitten en in die chromosomen is een biochemische stof werkzaam die DNA heet. Die stof (DNA) blijkt alle genetische informatie te bevatten. Maar toch bleef de vraag: hoe werkt dit alles? Hoe brengt een chemische stof de benodigde informatie over die bepaalt hoe de haan en zijn zaad de kip uit het ei voortbrengt? En hoe worden de genen van de ene generatie op de andere gekopieerd en doorgegeven?

Het beroemde antwoord was de *dubbele helix van het DNA*. Elke DNA-streng blijkt een soort moleculaire ketting te zijn die bestaat uit alle soorten atomen van fosfor, zuurstof etc die als kralen aan de ketting zijn geregen. Hun ordening langs de DNA-streng levert een bepaalde code (genetische lettertekens) op die de cruciale instructies van de erfelijkheid verschaft. Genen zijn chemische stoffen, maar chemie is niet meer dan thermodynamica. Dus toch blijkt dat het leven volledig binnen de klassieke wetenschap kan worden verklaard?

De kwantumrevolutie

Probleem blijft de enorme complexiteit van de biochemische reacties die zich in elke levende cel afspelen. Elke levende cel in je lichaam synthetiseert voortdurend duizenden verschillende biochemische stoffen binnen een reactievat dat slechts een paar miljoenen van een microliter vloeistof bevat. Hoe kan dat tegelijkertijd allemaal gebeuren? Daarnaast is sterfelijkheid een ander raadsel van het leven. Niemand heeft ooit de omstandigheid ontdekt waarin de richting van dode cel naar levende cel de overhand heeft. Wat gaat er onherroepelijk verloren als een cel of een persoon sterft? We beheersen nog steeds niet een kunstje dat triljoenen van de laagste microben elke tel moeiteloos doen.

De kwantumrevolutie zet de wereld op zijn kop.

Aan het begin van de 20^e eeuw wordt de aandacht gericht op microscopische onderdelen van de materie: atomen en moleculen. Daar blijken de wetten van de natuurkunde niet langer te gelden.

Het begrip 'kwantum' kwam als eerste van de natuurkundige Max Planck. Warmte-energie wordt uitgestraald via 'kwantums', pakketjes die niet verder kunnen worden opgesplitst. Vergelijk het met een langzaam druppelende kraan. Energie bestaat uit brokjes. Bij licht noemen we die brokjes *fotonen*. Licht blijkt tegelijk te bestaan uit deeltjes en uit golven. Volgens de traditionele natuurkunde kan dit niet, aldus Planck.

De Duitse natuurkundige Niels Bohr ontdekte dat electronen in een atoom niet vrij zijn om in een willekeurige baan om de kern heen te draaien, maar dat alleen kunnen doen in bepaalde vaste - gekwantiseerde - banen.

Een fundamenteel kenmerk van de kwantummechanica is dat *frequentie en energie* nauw met elkaar zijn verbonden. Subatomaire deeltjes hebben ook golfeigenschappen en dat betekent een bepaalde golflengte en een trillingsfrequentie. Snelle trillingen zijn altijd energiekeker dan langzame trillingen. Denk aan de wasdroger die met een hoge frequentie moet draaien (trillen) om met voldoende energie het water uit je kleren te krijgen.

De subatomaire wereld blijkt *spookachtig onstoffelijk* te zijn. Zo heeft het electron geen vaste locatie in het atoom en is er op een onherkenbare manier in verspreid. Het blijkt onmogelijk te kunnen meten waar een electron zich bevindt en hoe snel het beweegt. Dit is het beroemde *onzekerheidsprincipe* van Heisenberg.

Schrödinger beschrijft evenwel niet hoe een deeltje beweegt, maar hoe een golf zich ontwikkelt. Een electron blijkt geen diffuus deeltje in het atoom te zijn, maar een golf die over het hele atoom is verspreid. Het blijkt pas een deeltje te worden zodra we er naar kijken.

De golffunctie van Schrödinger

In de newtoniaanse wereld wordt door middel van een getal de precieze locatie van een object gedefinieerd. In de kwantumwereld gaat het om een wiskundige kwantiteit die de *golffunctie* wordt genoemd, die ons niet vertelt wat de precieze locatie is van bijvoorbeeld een electron, maar er wordt een hele verzameling getallen gegeven die de waarschijnlijkheid beschrijven dat het electron op verschillende locaties in de ruimte aangetroffen *zou kunnen worden*, als we er daar naar gaan zoeken. Deze onzekerheid van de locatie blijkt een fundamenteel kenmerk van de natuur te zijn op microscopisch niveau. Vergelijk het met de waarschijnlijkheid van waar in de stad iemand misdaden zou kunnen plegen. Wordt die persoon op heterdaad betrapt, dan is de waarschijnlijkheid op slag geslonken tot één bepaalde locatie. Zo verandert ook de golffunctie van een electron ogenblikkelijk, zodra het op een bepaalde locatie wordt waargenomen. Is er geen sprake van een observatie, dan is de golffunctie overal tegelijk (anders dan die persoon die een misdaad kan begaan). Zonder deze fundamentele ontdekking van de kwantummechanica zou een groot deel van onze moderne technologie niet mogelijk zijn.

In de jaren 20 van de vorige eeuw komen onder de biologen de *organicisten* op. Zij verwerpen zowel de ideeën van de vitalisten (leven is 'beziel'd door raadselachtige geestelijke krachten) als ook de ideeën van de mechanisten (een levend organisme werkt als een locomotief). Een van hen was Bertalanffy. Hij inspireerde onder meer de

kwantumnatuurkundige Pascual Jordan. Jordan stelde dat de kwantummechanica een biologische toepassing kan hebben, maar zijn nazistische politieke opvattingen brachten hem in discrediet. De grote grondlegger van de kwantumbiologie is Schrödinger (Ik vind het opvallend dat deze auteur geheel ontbreekt bij Capra/Luisi2014).

Schrödinger was geïntrigeerd door het mysterieuze proces van de erfelijkheid. Hoe kan die erfelijkheid zo nauwkeurig zijn en kunnen identieke kopieën van genen vrijwel onveranderd van de ene generatie aan de volgende worden doorgegeven?

In de statistiek zijn wetten alleen *gemiddeld genomen* waar. Zo is in de thermodynamica niet het gedrag van individuele moleculen voorspelbaar, maar slechts het gemiddeld gedrag van vele moleculen. (Dat geldt ook voor de statistische voorspelbaarheid van menselijk gedrag in de sociale veranderingkunde.) Microsystemen die slechts uit een klein aantal deeltjes bestaan kunnen met statistiek niet meer nauwkeurig worden beschreven. De waargenomen ordelijkheid komt voort uit de ordeloze bewegingen van heel grote aantallen deeltjes. Zo ontstaan er *orde uit chaos*. De klassieke wetten van de natuurkunde zijn op microscopisch niveau onbetrouwbaar.

Maar het principe van 'orde uit wanorde' kan het leven volgens Schrödinger niet geheel beheersen, omdat de kleinste biologische deeltjes, zoals de genen, te klein zijn om onderworpen te zijn aan de klassieke wetten. Genen lijken eerder op individuele atomen of moleculen en beantwoorden daarmee aan de kwantummechanica. Aldus is met Schrödinger de kwantumbiologie geboren.

In de jaren na de publicatie van Schrödingers boek *What Is Life?* wordt de dubbele helix van het DNA ontdekt en komt de moleculaire biologie snel opzetten. Dat gebeurt vooral zonder dat er een beroep wordt gedaan op kwantumverschijnselen. De kwantummechanica wordt amper genoemd en veel biologen staan er nog sceptisch tegenover, mede ook vanwege onbekendheid en vanwege de vreemdheid van de kwantumverschijnselen.

HOOFDSTUK 3: DE MOTOREN VAN HET LEVEN

Alles wat levende wezens kunnen kan worden begrepen in termen van het schudden en schommelen (67). (dus ook het in staat zijn om te veranderen)

Elk bot, pees en spier van ons lichaam wordt op zijn plek gehouden door taaie maar elastische vezels van het eiwit *collageen*. Dit biomolecuul fungeert als een soort lijm voor vlees. Collageen is het meest voorkomende eiwit bij dieren en mensen. Maar hoe werkt zo'n molecuul?

In de oertijd stierf een dinosaurus, zonk in de modder van een rivierdal en zijn levend weefsel werd in de modder vervangen door steen. Het skelet werd zo'n 70 miljoen jaar later door de mens ontdekt. Men ontdekte in het bot een flexibele vezelachtige substantie die precies leek op het soort zacht weefsel in tegenwoordige botten. En dit zachte weefsel zat stampvol collageen, de biologische lijm die de levende dinosaurus bijeen had gehouden. Biomoleculen, zoals het collageen, kunnen dus miljoenen jaren behouden blijven.

De onderzoeker mengde bij toeval het dinosaurusweefsel met een *enzym*, namelijk *collagenese*: één van de vele biomoleculaire machines die collageenvezels aanmaken en

afbreken in het lichaam van dieren. Binnen enkele minuten werden de weefsels van de dinosaurus die miljoenen jaren in tact waren gebleven, afgebroken door dit enzym.

Enzymen blijken de motoren van het leven te zijn (70). Enzymen spelen een belangrijke rol in onze maag en darmen bij het verteren van voedsel. Zo is gist dat wordt gebruikt om graan of druivensap om te zetten in bier of wijn in wezen een microbiële zak met enzymen. Maar enzymen betekenen veel meer. Het zijn de allereerste *microben* die uit de oersoep sijpelden. Elke cel in ons lichaam zit vol met honderden of zelfs duizenden van die enzymen die helpen bij het samenstellen en recyclen van biomoleculen, het proces dat wij *leven* noemen (70). *Helpen* is het sleutelwoord dat aangeeft wat enzymen doen: ze *versnellen* allerlei biochemische reacties (bijvoorbeeld bij vertering). Ze versnellen het proces waardoor talloze biomoleculen in onze cellen voortdurend worden omgezet in talloze *andere* biomoleculen die nodig zijn om ons *in leven te houden* **en** ze helpen ook bij het *snel afbreken* van vezels.

Maar hoe kunnen die enzymen dit bewerkstelligen? Kwantummechanica blijkt een belangrijke rol te spelen bij de werking van althans een aantal van deze enzymen. Enzymen blijken kwantumeigenschappen (zie vorige hoofdstukken) te hebben. Omdat die enzymen essentieel zijn voor al het leven op aarde, is dit de *eerste haven* die we aandoen *op onze reis door de kwantumbiologie*.

Waarom wij enzymen nodig hebben

Een belangrijk enzym is *collageen*. Dat is een eiwit dat bestaat uit fundamentele chemische bouwstenen: slierten *aminozuren*. Elk molecuul van een aminozuur bestaat uit tussen de 10 en 50 atomen van koolstof, stikstof, zuurstof, waterstof en soms zwavel. De moleculaire slierten worden aaneengeregen tot een eiwit, bijvoorbeeld collageen, zoals kralen aan een ketting. Elke kraal is verbonden met de volgende via een zeer krachtige *peptide-binding* die een koolstofatoom in het ene aminozuur koppelt aan een stikstofatoom in het andere. Aldus houdt een hecht netwerk van vezels ons hele lichaam bij elkaar.

Maar de collageen-vezels in onze botten, spieren en ons eten zijn niet onverwoestbaar. Als je ze kookt in een sterk zuur of loog worden de peptide-bindingen verbroken en wordt het een geleachtige substantie. Ons lichaam gebruikt het enzym *collagenase* om beschadigde delen van het vezelnetwerk te verwijderen, zodat het weefsel weer hersteld kan worden door een andere reeks enzymen. Eerst is afbraak van het beschadigde deel nodig en dan pas is herstel van het weefsel mogelijk.

Nog crucialer is, dat het vezelnetwerk van ons lichaam voortdurend vernieuwd moet worden wanneer een dier of mens groeit. Vooral is dat een nijpend probleem bij amfibieën waarvan de volwassen vorm heel anders is dan die van het onvolwassen dier. Denk aan de gedaantewisseling van amfibieën, bijvoorbeeld de transformatie van een donderkopje in een kikker. Het enzym collagenase heeft de rol om de collageen-vezels van het donderkopje die oersterk zijn (zie de dinosaurus) *af te breken*.

Hoe werkt dat? Enzymen werken als een vorm van *chemische katalyse*. Katalysatoren *versnellen* chemische reacties zonder dat ze zelf erdoor veranderd worden. Ook in de dinosaurus deed het enzym collagenase 68 miljoen jaren geleden de collageenvezels van de dinosaurus afbreken, maar toen het dier dood ging en in de modder belandde, werd het

enzym collagenase gede-activeerd, zodat de collageenvezels intact bleven, totdat de onderzoeker wat verse collagenase aan de botfragmenten toevoegde. Toen brak het netwerk in een mum van tijd helemaal af.

Collagenase is maar één van de miljoenen enzymen. Al die enzymen zijn verantwoordelijk voor de spijsvertering, de ademhaling, de fotosynthese en het metabolisme. Ze zijn, zoals gezegd, de motoren van het leven (77). Maar enzymen werken niet slechts als een *biochemisch proces*. Ze maken gebruik van een aantal handige kwantumtrucsjes.

Schudden en schommelen

Het collagenase-enzym doet de collageenvezels van de oeroude tyrannosaurus, van het donderkopje en van ons lichaam uiteenvallen om groei en vorming van nieuw weefsel mogelijk te maken tijdens de ontwikkeling en na een verwonding. Hoe werkt dit? Nemen we het piepkleine donderkopje en hoe dat zich ontwikkelt op microscopisch niveau, dan zien we dat het dichte spiervezelnetwerk desintegreert als gevolg van een collagenase-enzym. De vezelketen die anders misschien wel miljoenen jaren intact zou blijven, valt in een oogwenk uiteen. Het is een zorgvuldig gechoreografeerde dans op moleculair niveau. Om dit te begrijpen hebben we de kwantummechanica nodig die daar een rol in speelt (89). Want de gangbare theorie van de overgangstoestand kan dit niet allemaal verklaren.

In de eerste plaats kom je niet tot die enorme versnelling die enzymen teweeg kunnen brengen, als je alle mogelijke mechanismen die de splijtingsreactie van de peptiden bij elkaar neemt. In de tweede plaats is het een raadsel hoe de activiteit van enzymen wordt beïnvloed door allerlei veranderingen in de structuur van de enzymen zelf. Binnen de gangbare theorie van de overgangstoestand blijft het een raadsel dat verandering van de aminozuren in het enzym die zich ver van het actieve centrum van het enzym bevinden, ook *ingrijpende gevolgen* kunnen hebben voor de hele werking van het enzym. In hoofdstuk 10 komen we terug op deze ontdekking. Nog een probleem is dat de gangbare theorie tot nu toe *geen kunstmatige enzymen* heeft opgeleverd *die even goed werken als de echte*.

Welnu, enzymen manipuleren individuele atomen, protonen en elektronen binnen en tussen de moleculen. Deze atomen, protonen en elektronen volgen de vreemde wetten van de kwantummechanica, waar objecten twee of honderd dingen tegelijk kunnen doen, spookachtige relaties met elkaar kunnen hebben en door schijnbaar ondoordringbare barrières heen kunnen gaan.

Rondschuiven van elektronen en protonen

Enzymen blijken her en der elektronen te verschuiven binnen de moleculen en ze blijken ook van het ene op het andere molecuul te worden overgedragen. Deze bewegingen zien we bijvoorbeeld in onze ademhaling. In onze ademhaling nemen we zuurstof op in onze longen en stoten kooldioxide uit als afvalproduct. Maar bij ademen gebeurt nog veel meer in onze cellen. Het is een enorm chemisch complex proces. Zuurstof vanuit de longen is nodig om de brandstof uit ons eten te verbranden. Het raadsel van de ademhaling is hoe de enzymen de elektronen zo snel en efficiënt over grote moleculaire tussenruimtes kunnen verplaatsen (95). Het antwoord bleek te liggen in het vreemde *kwantumtunneleffect* dat we in hoofdstuk 1 tegenkwamen.

Kwantumtunneling is dat deeltjes net zo makkelijk door ondoordringbare barrières kunnen als geluid door muren. Hoe licht het deeltje is, des te makkelijker kan het 'tunnelen'. Dit tunnelen doet zich overal in de subatomaire wereld voor, vooral bij elektronen, aangezien dat heel lichte elementaire deeltjes in het atoom zijn. Een cruciaal aspect van dit tunneleffect is dat het afhankelijk is van de verspreide golfachtige aard van deeltjes die zich coherent moeten gedragen om tunneling mogelijk te maken. In enzymen voeren de deeltjes een *gechoreograafde dans* uit en niet een chaotische race en daarom kan zo'n tunneleffect in enzymen ontstaan.

Er zijn nog maar weinig wetenschappers die betwijfelen dat elektronen zich door middel van een kwantumtunneleffect voortbewegen in het ademhalingsproces. Elektronen zijn heel licht en hun gedrag is dan ook heel erg 'golfachtig'. Dat tunneleffect gebeurt dus ook in biologische systemen. Maar niet alleen de lichte elektronen, maar ook de zwaardere protonen blijken een kwantumtunneleffect te kennen. Dat tunnelen wordt bewezen door *het kinetisch isotoopeffect*. Atomen zijn namelijk verschillend in gewicht. Zo heeft waterstof bijvoorbeeld maar één proton in zijn kern. Maar de kern van een atoom bevat ook een *neutron*, zo zagen we in hoofdstuk 1. Atomen die meer neutronen bevatten, worden *isotopen* genoemd. Waterstof heeft maar één proton en één elektron en is het allerlichtste atoom. Bij het kinetisch isotoopeffect gaat het om de verhouding tussen reactiesnelheid bij zware en lichte isotopen. Hier speelt ook het kwantumtunneleffect mee.

We hebben in dit hoofdstuk gezien dat enzymen een van de meest onontbeerlijke elementen van het leven zijn en dat zij ons een nieuw inzicht verschaffen in het raadsel van het leven. Het kwantumtunneleffect blijkt een rol te spelen bij de werking van enzymen. Elke vitale activiteit van alle levende organismen (ook van de mens), elk proces dat ons in leven houdt wordt versneld door enzymen. Zij zijn de motoren van het leven.

In het volgende hoofdstuk zullen we zien dat niet alleen het kwantumtunneleffect een rol speelt in het leven, maar bijvoorbeeld ook de kwantumzweving.

HOOFDSTUK 4: DE KWANTUM-ZWEVING

Hoe komt de appel (het fruit) aan de boom?

De klassieke wetten volgens Newton voldoen niet meer en het *élan vital* - vitale krachten die afkomstig zouden zijn van een bovennatuurlijke bron – daar gelooft vandaag de dag geen serieuze wetenschapper meer in. Men twijfelt er niet meer aan dat het leven verklaard moet worden binnen het domein van de wetenschap. *Het blijft echter de vraag welke van de natuurwetenschappen (sic) zich het beste leent voor die verklaring (110).*

(De sociale veranderingkunde definieert zichzelf als een inter- en transdisciplinaire wetenschap. Maar hebben we dan wel voldoende aan de natuurwetenschappen om het leven te verklaren?)

Zouden planten niet kwantumcomputers kunnen zijn, kwam op een bepaald moment als vraag naar voren. Het centrale mysterie van de kwantummechanica is de *golfddeeltjesdualiteit*: het verschijnsel dat deeltjes in de kwantumwereld zich gedragen als door de ruimte verspreide golven en golven zich soms gedragen als individuele gelocaliseerde deeltjes. Deze dualiteit speelt ook een rol bij de biochemische omzetting van

lucht, water en licht in planten, microben en indirect in alle levensvormen waaronder ook in mensen.

Vergelijk de schijnbare goocheltruc in het beroemde *tweespletensexperiment* dat reëel is en al duizenden malen is uitgevoerd (zie beschrijving in drie stappen, pag. 113 e.v.). Uit de interferentie van de twee lichtgolven die door de twee spleten komen, zien we op het achterliggend scherm een geleidelijk wisselende variatie in de intensiteit van het licht. Dat komt omdat de cirkelvormige golven van het licht dat komt uit de twee spleten elkaar overlappen en met elkaar interfereren. Die interferentie van lichtgolven is een belangrijk kenmerk van alle golfverschijnselen. We zien dit ook bij *geluidsgolven*. Een musicus die een instrument stemt luistert naar de *zwevingen*. De frequentie van de ene toon komt heel dicht bij die van de andere toon en de interferentie van die twee geluidsgolven genereert een geluid waarvan het volume periodiek toe- en afneemt.

Als we het tweespletensexperiment niet uitvoeren met licht, maar met kogels (dat zijn massieve deeltjes in plaats van diffuse golven) op het scherm af te vuren, dan ontstaat er *geen* interferentie. Als we in plaats van kogels *atomen* afvuren, wat blijkt dan? De atomen gedragen zich niet als kogeltjes die twee banen op het scherm vormen (118). In plaats daarvan zien we een golfachtig interferentiepatroon net zoals bij het lichtexperiment. Het helderste deel van het achterliggend scherm blijkt zich *in het midden van dit scherm* te bevinden, waar je eigenlijk niet zou verwachten dat er veel atomen terecht zouden komen. Kennelijk slaagt een atoom erin zich van zijn kogelachtige aard te ontdoen en door beide spleten heen te gaan en zich als een golf te gedragen.

Maar als het atoom bespioneerd wordt, dan blijkt het slechts door één van de beide spleten te gaan en levert het *geen interferentiepatroon* op. De aanwezigheid van een observant/waarnemer/detector blijkt voldoende te zijn om het golfachtig gedrag van een atoom te doen verdwijnen. Die waarnemer *beïnvloedt* dus het gedrag van het atoom. Maar hoe kan een atoomdeeltje *weten* of er sprake is van een waarnemer of niet? Het is de golf functie van het atoom. Het atoom heeft niet echt één specifieke locatie, tenzij wij die meten. Als de golf functie bij de spleten komt, splitst zij zich in tweeën, waarbij *elke* helft door een van de beide spleten gaat, maar je kunt nooit weten wat er *werkelijk* is. (Is dit een waarheidsbegrip en is hier de tegenstelling aan de orde tussen een waarheids- en een werkelijkheidsbegrip?)

Vergelijk het met het feit dat je nooit kunt weten of het lampje in de koelkast aan is, voordat je de deur opendoet. Zodra je kijkt en die deur open doet, verandert het systeem. We kunnen dus in kwantumtermen praten over een golf functie die één atoom in superpositie beschrijft waarbij het op twee plaatsen tegelijk is en tegelijk door de linker- en rechterspleet gaat.

Maar waarom kunnen wij mensen dan niet op twee plaatsen tegelijk zijn? Wij bestaan toch ook uit kwantumdeeltjes? Het antwoord is eenvoudig: hoe groter en massiever een lichaam is, hoe geringer zijn golf functie zal zijn. De kwantumgolflengte is dan zo gering dat de atomen geen meetbaar effect meer hebben. Het speelt op een dieper niveau.

Wat verstaan we onder 'meting'?

De-coherentie komt in de natuur ook voor zonder 'meten'. Het is de woeligheid van de chaotische moleculaire beweging rondom een kwantumsysteem die leidt tot onmiddellijke decoherentie: weg met de golf functie. Onderzoekers kunnen alleen door extreme maatregelen te nemen – bijvoorbeeld de omgeving in lage temperatuur brengen waardoor er veel minder gedrang is in het systeem – de golf functie aantonen.

Planten innen het 300.000 km lange zonlicht om biomassa aan te maken. Lucht en water wordt via fotosynthese in een appel omgezet. De bladaderen brengen water vanuit de wortels naar het blad. In het membraan van de cellen worden voedingsstoffen binnengelaten en afvalproducten afgevoerd. In de cellen zitten eiwit-*enzymen* die voedingsstoffen afbreken en biomoleculen aanmaken zoals koolhydraten, DNA, eiwitten en vetten. Ook in dit proces van fotosynthese wordt gebruik gemaakt van subtiele kwantumcoherentie (de golf functie). Het leven lijkt zich te manifesteren op het grensvlak tussen de kwantummechanische en de klassieke wereld (142).

We gaan nu over naar de noodzaak van het *bevrucht worden* door vogels en insecten, met name bijen voor de groei van de appel. Dat bijen de appelbloesem kunnen vinden berust opnieuw op de kwantummechanica in de reukzin van bijen.

HOOFDSTUK 5: OP ZOEK NAAR NEMO'S HUIS

Hoe vinden de larven van de anemoonvissen die leven in de koraalriffen en de veiligheid van hun huis op een gegeven ogenblik moeten verlaten door de sterke stroming van het water, de weg terug naar huis: het veilige onderdak in een koraalrif? Hoe kunnen ze de kant op zwemmen waar ze heen moeten?

De anemoonvisjes blijken de weg terug te vinden door middel van een zeer scherp *reukvermogen*, zoals we dat ook zien bij zalmen die de weg terugvinden naar het paaigebied waar ze geboren zijn, door een geurspoor te volgen. Die reukzin is ook van levensbelang voor de meeste landdieren, onder andere ook om hun prooi te vinden of een partner te vinden. Hier speelt mee dat wij ook als mens een complexe cocktail van honderden organische moleculen afgeven die een signatuur van onze aanwezigheid nalaten die even individueel zijn als onze vingerafdrukken (148). De mens heeft een slechtere reukzin dan de meeste dieren, omdat hij rechtop is gaan lopen en daarmee verder is verwijderd van de grond, maar onze gevoeligheid voor geuren (en stank) is nog steeds heel sterk en speelt een cruciale rol in ons gevoel van welbehagen en voldoening (150).

Maar wat is de *fysieke werkelijkheid van geuren*? Ons zien en ons horen gebeuren indirect, doordat we via elektromagnetische golven of door geluidsgolven informatie vanaf een object waarnemen. Reuk en smaak haalt de informatie direct door contact met het waargenomen object (molecuul) dat boodschappen 'van een materiële werkelijkheid' overbrengt. Beide werken volgens ongeveer dezelfde principes. De moleculen zijn opgelost in speeksel of ze hangen in de lucht, maar ze worden vervolgens opgepikt door *receptoren*.

Hoe ziet die weg eruit die wordt afgelegd van molecuul (bijvoorbeeld de geurmolecuul limogeen in citrusvruchten) tot geur? De geur wordt opgevangen door reukzenuwen via het membraan van elke zenuwcel en gaat vervolgens naar je hersenen voor neurale verwerking. In het boek (154 ev) wordt uitgelegd hoe dit opvangen van het geurmolecuul via geur-receptor- genen door de reukzenuw gebeurt.

Maar hoe herkent elke receptor zijn eigen verzameling geurmoleculen uit de chemische oceaan van talrijke geurstoffen? Heeft dit misschien te maken met de *frequentie* waarmee moleculaire bindingen tussen de atomen ervan *trillen*? De moleculaire trillingen zouden dan moeten worden opgenomen door de neus? Maar hoe kan de neus de frequentie van een moleculaire trilling waarnemen? Dat blijkt te kunnen door middel van het kwantummechanisch tunnelen van elektronen in atomen. Dat tunnelen zagen we in hoofdstuk 3 bij veel enzymen. Maar ruikt de geur dan anders bij een andere trillingsfrequentie? Het blijkt dat niet alleen trilling, maar ook vorm-herkenning hierbij een rol speelt.

HOOFDSTUK 6: VLINDER, FRUITVLIEGJE EN KWANTUMROOBBORSTJE

De monarch vlinders blijken tussen september en november meer dan 3000 km af te leggen vanuit Canada naar het zuidwesten om in het voorjaar weer naar Canada terug te keren. Zij navigeren onder andere via een biologische klok die ook wij als mensen hebben en die zich bij ons in de hypothalamus bevindt. Bij de monarch vlinder blijkt die biologische klok in hun voelsprieten te zitten. Daarin zit een bepaald gen dat ervoor zorgt dat hij helemaal van Toronto naar Mexico kan vliegen zonder te verdwalen.

Een ander aspect dat in deze trek van dieren meespeelt is het zintuig *magnetoreceptie*: het vermogen om het aardmagnetische veld waar te nemen. Dat zagen we in hoofdstuk 1 ook al bij roodborstjes. Maar hoe kan een onzichtbaar magnetisch veld worden waargenomen?

Het vogelkompas

Onze planeet is een gigantische magneet die zijn invloed uitstrekt tot duizenden kilometers de ruimte in (de magnetosfeer). Dit magnetisch veld beschermt al het leven op aarde tegen de zonnwind. Maar dieren maken ook gebruik van dit magnetisch veld en hebben daar een zintuig voor ontwikkeld. Maar hoe werkt dat? Hoe kan dit zwakke magnetisch veld van de aarde van invloed zijn op het lichaam van dieren?

Neuronen in het lichaam blijken te reageren op magnetische signalen en zenden vervolgens een signaal naar de hersenen van het dier. Deze magnetoreceptie blijkt te werken door middel van een *chemisch kompas* en niet door een bepaald orgaan in het dier. Het is een chemisch mechanisme dat een verband legt tussen licht en magnetoreceptie.

Kwantumverstrengeling (zie hoofdstuk 1) blijkt bij die chemische reacties een rol te spelen. Een vreemde eigenschap van de subatomaire kwantumwereld is *spin*. Elektronen en andere subatomaire deeltjes hebben die eigenschap. De spin van een elektron kan *twee kanten tegelijk* op spinnen als het niet wordt gadeslagen. Zijn spintoestand is een *superpositie*, dat wil zeggen een combinatie van spin up (met de klok mee) en spin down (tegen de klok in). Zoals we zagen kan een elektron ook *op twee plaatsen tegelijk* zijn. Nu zien we dat het ook nog op twee tegengestelde bewegingen in kan gaan, iets dat geheel tegen onze intuïtie indruist. Die eigenschappen kan een elektron hebben, omdat elektronen *geen* piepkleine bolletjes zijn en omdat ze überhaupt geen afmeting hebben. En dat kunnen wij ons niet *voorstellen*. Om te begrijpen welke rol kwantumverstrengeling in de biologie speelt, moeten we dus die twee ideeën combineren: verstrengeling van twee deeltjes die zich op

verschillende plekken in de ruimte bevinden en het vermogen van één kwantumdeeltje (bijvoorbeeld een elektron) om in twee of meer verschillende toestanden te verkeren (zowel spin up als spin down). Hoewel geen van de beide elektronen één bepaalde spinrichting heeft, heeft elke spin wel invloed op de spin van zijn partner en omgekeerd. De beide elektronen verkeren in een superpositie, terwijl ze ten alle tijde ook een tegenovergestelde spin hebben. Ze spinnen tegelijkertijd zowel in dezelfde als in de tegenovergestelde richting.

Het vreemdste en beroemdste idee van de kwantumbiologie is, dat magnetische velden van invloed blijken te kunnen zijn op *chemische reacties* en de grondslag vormen voor een magnetisch kompas bij vogels, die daar licht in het oog voor nodig hebben om met behulp van het eiwit cryptochroom de kaart te maken voor hun verre reis. Magnetoreceptie is aangetoond bij een grote verscheidenheid aan soorten, waaronder vogelsoorten, langoesten, roggen, haaien, vinvissen, bijen en zelfs microben. De ontdekking van dit vermogen suggereert dat het geërfd is van een gemeenschappelijke voorouder meer dan 500 miljoen jaar geleden.

HOOFDSTUK 7: KWANTUMGENEN

Op ongeveer 4 kilometer diepte bevindt zich in Antarctica onder de zeer dikke laag ijs een groot meer dat miljoenen jaren afgesloten is geweest van het aardoppervlak. Het bleek een complex netwerk van levende organismen te bevatten: van eencellige bacteriën tot weekdieren en zelfs geleedpotigen. Hoe konden deze zich miljoenen jaren handhaven?

Onderzoekers vonden een *chemische stof* (molecuul) die cruciaal is voor alle leven op onze planeet: het DNA. Dat bleek vrijwel identiek te zijn aan de *genen* van bacteriën en andere wezens die boven het ijs leven. Die genetische overeenkomst verwees naar een gemeenschappelijke afkomst en die genetische code is honderduizenden jaren vrijwel exact overgedragen, zowel boven als onder het ijs. Dit noemen we *erfelijkheid*. In het DNA liggen genen vastgelegd die codes bevatten voor de eiwitten en enzymen die in elke levende cel worden aangemaakt en die zorgen voor het accuraat kopiëren van genetische informatie.

Maar betekent dit dat genen kwantummechanische eenheden zijn? De mate waarin copierfouten optreden bij DNA-replicatie (mutaties) is doorgaans minder dan één op de miljard. Exact kopiëren is cruciaal voor het leven, omdat één enkel foutje in het zeer complexe systeem fataal kan zijn. Denk aan erfelijke ziektes of de dood van het nageslacht. Maar hoe verloopt dat coderen en erven van biologische informatie? De structuur van het DNA bestaat uit twee spiralen: de 'dubbele helix'. Deze helix bevat een ruggegraat van suikers en fosfaten waaraan de feitelijke boodschap van het DNA vastzit: de *genetische code*. Opvallend is dat de informatie op de ene streng ook aanwezig is in omgekeerde vorm op de andere streng. Die koppeling komt door een zwakke chemische verbinding die als een soort lijm de beide moleculen bijeenhoudt. Die lijm is een *gedeeld proton* in de beide strengen, zodat het enzym *DNA-polymerase* bij elke aparte streng kan komen en aldus een volledig complementaire copie in de beide strengen kan maken. Dit proces (van veranderen) is de grondslag van de voortplanting van al het leven op onze planeet.

De positie van die protonen wordt niet bepaald door klassieke regels/wetten, maar door kwantumwetten. De genetische code die het leven mogelijk maakt is een kwantumcode. Het is deze orde die verantwoordelijk is voor de nauwkeurigheid van de erfelijkheid.

Maar zelfs kwantumreplicators maken af en toe een vergissing, omdat het leven zich anders ook niet zou kunnen aanpassen aan zijn vele uitdagingen. Daarom dienen er soms mutaties op te treden in de genetische code, zodat de organismen beter zijn toegerust om te overleven in de dynamische omgeving en er steeds variatie kon optreden in de evolutie.

Zijn die mutaties binnen het gen mogelijk een soort kwantumsprong? Mutaties in planten kunnen onder andere optreden door de invloed van bacteriën op planten. Er blijkt dan altijd sprake te zijn van een soort wachten tot de juiste mutatie zich door een willekeurig proces in het gen voordoet. Dit willekeurig proces houdt in dat protonen binnen een molecuul worden verplaatst via een kwantummechanisch proces.

Maar zijn mutaties dus een soort kwantumsprong? Het antwoord van de schrijvers is 'ja'. Een proton – dus ook het gedeelde proton (de lijm) tussen twee atomen van het DNA – heeft zowel een deeltjes- als een golfkarakter. Het proton is dus gede-localiseerd en bevindt zich in een *waarschijnlijkheidsveld* en kan op veel verschillende plaatsen tegelijk zijn, ook daar waar ze alleen kunnen komen door middel van een kwantumtunneleffect dat door enzymen kan worden bevorderd.

Er zijn dus twee mogelijkheden: of de genetische code herhaalt zich exact of de coderende protonen verschuiven naar een nieuwe positie en er treedt een variatie op. Er is hier kennelijk sprake van een *keuze*. Wel blijkt zo'n nieuwe variatie vaker op te treden bij genen die vaker worden 'gemeten' dat bijvoorbeeld kan gebeuren door het enzym DNA-polymerase. Zoals gezegd, worden kwantumsystemen altijd door metingen verstoord.

Het proces van genetische selectie en variatie blijkt volgens de auteurs zonder de kwantummechanica niet afdoende te kunnen worden verklaard. In ieder geval kunnen we stellen dat de kwantummechanica essentieel is voor de erfelijkheid, omdat onze genetische code in kwantumdeeltjes (kwantumgenen) is geschreven. De vraag blijft of de kwantummechanica een even belangrijke rol speelt bij genetische *mutaties*.

HOOFDSTUK 8: HET BEWUSTZIJN

De auteurs vertellen over de ontdekking van de rotskunst van de jagers uit de ijstijd in de grotten in de Ardèche. De kunstenaars hebben niet alleen objecten geschilderd, maar ze schilderden (aldus de auteurs) ook *ideeën*. (Ik constateer dast hier een dualistisch denken wordt verwoord over de verhouding tussen objecten en ideeën). De kunstenaars hadden dus een bewustzijn.

Maar wat is bewustzijn? Veel verschijnselen die in dit boek zijn besproken zoals kompassen, enzymatische activiteit, fotosynthese, erfelijkheid en reuk kunnen worden besproken in termen van de conventionele natuurwetenschappen. De kwantummechanica past volledig binnen de moderne wetenschap. Wiskunde is de grondslag ervan. Maar met 'bewustzijn' ligt het anders. Is bewustzijn een eigenschap van *alles wat leeft*? Voelt het roodborstje niet een aandrang om voor de winter naar het zuiden te vliegen? (Volgens Damasio is 'voelen' de basis van alle bewustzijn) Als bij alle levende wezens sprake zou zijn van bewustzijn, dan verwijst dit

naar een gemeenschappelijke voorouder zo'n 500 miljoen jaar geleden. Maar we weten het niet. De jagers hadden in ieder geval wel zeker een bewustzijn. Dus een deel van de materie kreeg een bewustzijn. Speelde de kwantummechanica hierbij een rol?

Wij weten al veel over het universum en dat komt door onze *bewuste geest*, al weten we nauwelijks iets over de werking ervan.

(De auteurs veronderstellen hier de 'bewuste geest' naast het materieel bestaan. We herkennen hier het dualisme Descartes met zijn grondslag van 'cogito, ergo sum').

Veel gedrag kunnen wij *onbewust* uitvoeren in die zin dat onze bewuste geest afwezig kan zijn, terwijl we die dingen doen. Soms gaat het ten koste van onze prestaties als we bij over deze activiteiten zelf nadenken

(Bewustzijn wordt hier als een cognitief zelfbesef omschreven. Ik vind dit veel te kort door de bocht).

In ieder geval is voor taal een bewustzijn onontbeerlijk. Een gesprek kun je niet voeren op de automatische piloot. Alle bewuste activiteiten worden aangestuurd door *ideeën* (248)

(Steeds weer zien we hier het dualisme van Descartes terug. Hier begint mijn probleem met het hele boek. Over dit grootste raadsel van ons bestaan, het bewustzijn, wil ik verwijzen naar DAMASIO).

Wat zijn ideeën? Dat zijn *concepten* (sic) die complexe informatie bevatten zodat de betekenis van al die informatie 'in hun geheel' wordt begrepen. Dankzij het bewustzijn kan onze geest aangestuurd worden door ideeën en niet alleen maar door prikkels (248)

(Alsof prikkels geen ervaringen zijn die een bewustzijn al vóóronderstellen!!).

Hoe verloopt dit *lijmen* (*verbinden*) van allerlei sensorische informatie *tot een idee* in onze bewuste geest? In hoofdstuk 6 hebben we gesproken hoe geuren door onze reukzin worden opgevangen, hoe die reukzin vervolgens gaat 'vuren': een elektrisch signaal afgeeft, dat door de hersenen vervolgens wordt verwerkt. Als het signaal van de reukzenuw in de hersenen is gearriveerd, zorgt het ervoor dat er nog veel meer verderop gelegen zenuwen – oogzenuwen, gehoorzenuwen, tastzenuwen et cetera - gaan 'vuren' naar de visuele cortex van de hersenen. Aldus worden herinneringen in de hersenen gecodeerd. Maar er is in de hersenen nergens een *plaats* waar al die sensorische informatie bijeenkomt om de *bewuste* indruk van de bizon te vormen. Er is geen plek waar dat bindingsproces om te komen tot een betekenisvol beeld van de bizon plaatsvindt.

Maar hoe kan ons idee materie in beweging brengen' (251)?

Precies dat dualisme van geest en materie dat hier wordt vóórondersteld!!!!!!)

Bewustzijn speelt geen enkele rol in een volkomen deterministisch universum waarin sprake is van oorzaak-gevolg. Kan de kwantummechanica een topje van de sluier oplichten?

We stellen ons de vraag: wat is de inbreng van het bewustzijn in de hele causaliteitsketen tussen aanspannende spieren in de arm van de schilder, zenuwimpulsen die met behulp van een enzym de spieren aanspannen, de hersenimpulsen die de zenuwen doen vuren en de hele sensorische input van de hele keten met het idee in gang zetten, zodat de spieren zich samentrekken en de arm wordt bewogen?

In feite wordt de samentrekking van de spiervezels van de schilder getriggerd als positief geladen natriumionen haar spiercellen binnenstromen. Dat binnenstromen gebeurt doordat de motorische zenuwen die aan de spieren vastzitten chemische stoffen afgeven, zogenaamde *neurotransmitters*. Maar dit is geen mechanistische causaliteitsketen van sensorische input tot motorische output. Want de geest blijkt de materie in beweging te kunnen zetten. De hersenen zijn geen computer van de geest, maar de geest is toch niet iets

anders dan het lichaam, zoals dat in het dualisme wordt verondersteld? Het bewustzijn is een kwantumverschijnsel. Maar functioneert het bewustzijn ook als een kwantumcomputer die rekt met qubits die als een 1 én een 0 kunnen opereren en dus veel meer informatie kunnen coderen dan een gewone computer, zeker ook als je de qubits gaat combineren en ze met alle anderen qubits verstrengeld laat zijn. Elke beweging van de ene qubit heeft zijn invloed op de naburige qubits. Maar wil de kwantumcomputer werken en de berekeningen niet verstoren, dan moeten de qubits volledig geïsoleerd zijn van de omgeving, omdat ze anders met die omgeving verstrengeld zouden raken. Men probeert dus de apparaten grondig te isoleren om alle omgevingsinvloeden te weren.

Een mogelijke locatie voor kwantummechanische verschijnselen in de hersenen is in de ionkanalen in de membranen van zenuwcellen. De ionen geven de zenuwsignalen door aan de hersenen met een enorme snelheid en met een buitengewone selectiviteit. Maar hoe dat kan, is nog steeds een raadsel. Mogelijk kan de kwantummechanica hier de uitkomst bieden. Het ion is immers eerder een coherente golf dan een deeltje en fungeert als een essentieel onderdeel van ons denkproces.

Maar hoe zouden de afzonderlijke denkprocessen gecombineerd kunnen worden tot bewuste, samenhangende gedachten? Dat kan alleen als de ionkanalen met elkaar in verbinding staan en zijn verstrengeld. Maar dit is volstrekt onaannemelijk in de warme, vochtige en decoherente in de hand werkende omgeving van levende hersenen.

(Hier zien we kritiek op Penrose die de hersenen omschrijft als een kwantumcomputer. Overigens wordt deze stelling weerlegd door Christiane Morais)

Maar is er dan iets anders dat die verstrengeling wél zou kunnen realiseren? De hersenen hebben overal hun eigen elektromagnetisch veld. Mogelijk kan dit veld het bindingsprobleem oplossen en een zetel voor het bewustzijn opleveren? De lezer mag het zelf uitmaken.

In ieder geval verklaart dit alles op geen enkele manier de zogenaamde ‘paranormale verschijnselen’. De elektromagnetische velden beïnvloeden alleen neurale processen *binnen één brein*. Ze zorgen niet voor communicatie tussen verschillende breinen.

HOOFDSTUK 9: HOE HET LEVEN BEGON

De aarde is zo’n 4 miljard jaar geleden ontstaan. Niet lang na haar ontstaan, zo’n 3,7 miljard jaar geleden, blijkt zij al vloeibare warme oceanen te bevatten. Ter discussie staat of daar al levende organismen in leefden die net als de huidige planten functioneerden. Enkele honderden miljoenen jaren later zijn er in ieder geval wel duidelijke bewijzen voor het bestaan van leven in de vorm van microben. We hebben gezien dat de kwantummechanica een grote rol speelde bij het ontstaan van het universum. De vraag is of deze theorie ook het ontstaan van het leven kan verklaren.

Volgens Darwin kunnen chemische processen in een ‘warm poeltje’ geleid hebben tot het ontstaan van levend materiaal, tot een molecuul met het vermogen om zich te vermenigvuldigen, een replicator. Een proces van natuurlijke selectie zou er vervolgens voor zorgen dat deze replicatoren steeds efficiënter en complexer werden en hun eigen biomoleculen konden aanmaken. Met het vermogen om zijn inwendige toestand te

handhaven en tegelijk gescheiden te houden van zijn omgeving, zou de eerste levende cel ter wereld zijn gekomen (283) (Ik: de eerste vorm van agency is hiermee ontstaan). Maar hoe is in de oersoep een oerreplicator kunnen ontstaan? De meest basale zichzelf vermenigvuldigende organismen die nu leven zijn bacteriën. Maar een bacterie is al een bijzonder complexe levensvorm. Het leven moet begonnen zijn vanuit iets dat veel simpeler was dan een bacterie. De beste hypothesen zijn moleculen van zelfreplicerend enzymatisch RNA (ribozymen) en een protocol.

In ieder geval blijkt *RNA* een belangrijke rol te spelen bij het ontstaan van vroege replicatoren. RNA is chemisch verwant met DNA, maar heeft slechts één (kortere) streng. Het DNA heeft een dubbele helix. Toch heeft RNA het vermogen om te coderen voor genetische informatie. Het kan zich vrijelijk door de cel heen bewegen en vormt een belangrijke schakel tussen de genetische code van het DNA en de eiwitten die vervolgens alle andere bestanddelen van onze cellen aanmaken. De eerste chemische synthese zou geleid hebben tot het geheel toevallig (?) ontstaan van een RNA-molecuul dat niet alleen als gen, maar ook als enzym kon fungeren en dat dus zowel de code voor zijn eigen structuur kon bevatten (zoals DNA) als kopieën van zichzelf kon maken (zoals enzymen) met behulp van de biomoleculen in de oersoep (289).

Maar hoe kan in de oersoep zo'n RNA-molecuul zelf aangemaakt worden? Ondanks vele pogingen heeft niemand ooit ook maar één zelfreplicerend molecuul RNA gemaakt of er eentje in de natuur waargenomen. Zou het probleem kunnen zijn dat we ons zoekproces te veel beperken tot de regels van de klassieke wereld? Kan het kwantum zoekscenario uitkomst bieden? In hoofdstuk 3 zagen we dat zowel elektronen als protonen met behulp van een kwantumtunneleffect door energiebarrières heen kunnen, een cruciaal aspect van de werking van enzymen. Feitelijk bestaat het electron of het proton tegelijk in de beide kanten van de barrière. Mogelijk kon zo uit de gigantische hoeveelheid variaties een chemische reactie voor zelfreplicatie zijn ontstaan. Als we er dus van uitgaan dat het proto-enzym elektronen en protonen zijn in een kwantumsysteem, dan wordt het vinden van een eerste zelfreplicator oplosbaar (297).

Natuurlijk blijft deze theorie bijzonder speculatief, maar de kwantummechanica heeft er aan bijgedragen de kans te verhogen dat het leven ontstond in de oeroude rotsen op Groenland.

HOOFDSTUK 10: KWANTUMBIOLOGIE: LEVEN OP DE RAND VAN EEN STORM

De kwantumtheorie is normaal, maar de wereld die ze beschrijft is heel vreemd. De wiskundige onderbouwing is volkomen logisch en consistent en geeft een accurate beschrijving van hoe de wereld is op het niveau van de elementaire deeltjes en kracht. Het is het fundament van de fysieke werkelijkheid.

In het inwendige van grote objecten speelt een turbulent thermodynamisch proces van vloeistoffen en gassen dat wij de-coherentie noemen en dat de vreemdheid van de kwantumwereld doet verdwijnen. Hier gelden de newtoniaanse wetten van de beweging, zoals snelheid, zwaartekracht et cetera.

Op het diepste niveau van de fysieke werkelijkheid speelt de kwantumwereld (het gedrag van atomen en moleculen) en niet de regels van de klassieke mechanica. In de kwantumwereld spelen verschijnselen zoals coherentie, superpositie, het tunneleffect en

verstremgeling. Deze kunnen gevolgen hebben voor het hele organisme in de macroscopische wereld. Fotosynthetische systemen, enzymen, de keten van gasstofwisseling en genen vertonen kwantumeigenschappen die mede bepalend zijn voor onze ademhaling, voor de enzymen die ons lichaam bouwen en voor de fotosynthese die bijna alle biomassa op onze planeet aanmaakt (304). In de kakofonie van de moleculaire ruis in elke levende cel met haar warme omgeving gaat de kwantumcoherentie van het golfachtige gedrag van het molecuul niet verloren, doordat levende systemen de moleculaire trillingen niet proberen te vermijden, maar *op de maat ervan dansen* (305).

De complexiteitstheorie bestudeert de neiging van bepaalde vormen van chaotische beweging om orde te genereren door middel van *zelforganisatie* (311). Zelforganisatie speelt ook een rol bij diverse biologische verschijnselen zoals het zwermgedrag van vogels, vissen en insecten en bijvoorbeeld in het strepenpatroon van een zebra. Het opmerkelijke van al deze zelforganiserende systemen is dat de macroscopische orde die we hier zien, niet terug te vinden is op moleculair niveau. Het gaat bij zelforganisatie om 'orde uit chaos'. Maar zo werkt het niet op microscopisch niveau. Hoewel er in levende cellen heel wat ordeloze moleculaire beweging is, is de werkelijke activiteit van het leven een strak choreografeerde beweging van elementaire deeltjes in enzymen, fotosynthetische systemen, DNA et cetera. Het is een ingebouwde orde. 'Orde uit chaos' zoals de werking van een stoommachine is daarom niet de enige verklaring waardoor het leven wordt gekenmerkt.

Technologisch kan de kwantumwereld alleen worden benut om voor ons allemaal van alles mogelijk te maken, als de de-coherentie kan worden afgehouden. Dit niet door de kwantumreacties af te schermen tegen de inbreuk van al die moleculaire ruis, want het leven blijkt juist gebruik te maken van deze ruis om zijn verbinding met de kwantumwereld te handhaven, zo hebben we in hoofdstuk 10 aangetoond. We kunnen de levende cel zien als een *groot zeilschip*. Het moet eerst te water worden gelaten in de woelige thermodynamische baren om stabiliteit te genereren. De kapitein kan de storm gebruiken om zijn schip te stabiliseren. Aldus omhelst het leven de storm.

Ons nieuwe inzicht in het leven vervangt hetgeen men vroeger de 'ziel' noemde door een kwantummechanische levensvonk. Het vermogen om zichzelf als levende cel in stand te houden wordt gehandhaafd door een complex moleculair systeem van enzymen, pigmenten, DNA, RNA en andere biomoleculen, waarvan enkele eigenschappen berusten op kwantummechanische verschijnselen zoals het tunneleffect, coherentie en verstremgeling. Het leven is het vermogen om thermodynamische stormen en rukwinden aan te wenden teneinde zijn verbinding met de diepere kwantumwereld te behouden. Zonder die verbinding kunnen coherentie, verstremgeling, het tunneleffect en superpositie het macroscopisch gedrag van de cel niet meer beïnvloeden. De afgesneden cel zal in de turbulente thermodynamische wateren ten onder gaan en een volkomen klassiek object worden.

De dood betekent het verbreken van de verbinding van een levend organisme (bijvoorbeeld een mens) met de ordelijke kwantumwereld, waardoor het de ontwrichtende krachten van de thermodynamica niet meer kan weerstaan en het lichaam een klassiek object is geworden.

Kwantumbiologie als mogelijkheid om nieuwe technologie te maken

Is het mogelijk om nieuwe levende biotechnologie te ontwikkelen vanuit inzichten in de kwantumbiologie? In zekere zin doen we dat al, bijvoorbeeld enzymen gebruiken we om natuurlijke vezels af te breken of toe te voegen aan een wasmiddel. Of antibiotica die ons beschermt tegen infecties. Maar deze bestaande levende technologie heeft z'n beperkingen. Het rendement kan worden verhoogd en we kunnen nieuwe producten selecteren die de natuur zelf nog niet heeft gemaakt (325). Denk aan genetische modificatie van planten, microben en dieren. Bijvoorbeeld planten maken die resistent zijn tegen ziektes of tegen bestrijdingsmiddelen of rijst ontwikkelen die vitamine A aanmaakt en dus veel gezonder is.

Maar genetische modificatie is in feite alleen maar prutsen met leven. De *synthetische biologie* wil technologie ontwikkelen door geheel nieuwe levensvormen te creëren (326) uit levenloze chemische stoffen, waardoor we niet meer afhankelijk zijn van *mensen* die de producten moeten repareren en in stand houden. Het gaat om het creëren van leven dat *zichzelf* voortdurend vernieuwt, vervangt en herstelt. Denk aan levende prothesen en aan levende robots.

(Nu komt het sociaal-maatschappelijk en ethisch aspect van technologie om te hoek kijken. De auteurs benoemen dit niet eens. De mens uitschakelen impliceert een volledige *onteigening van zelfregie* die aan de orde is in de synthetische technologie).

Maar wat is eigenlijk 'leven', zo vragen de auteurs zich af. Hoewel zelfreproductie noodzakelijk is voor het voortbestaan, is het geen vereiste voor leven. Nog fundamenteler voor leven is: *zelfvoorzienend zijn*, in staat zijn om zijn levende toestand te handhaven, zichzelf in stand te houden in turbulente thermodynamische wateren (330). Misschien kan de kwantummechanica ons helpen om een antwoord te vinden op de vraag: wat is leven? Misschien kunnen we een protocol bouwen met de vreemde eigenschappen van de kwantummechanica.

(Het boek loopt af met de beschrijving van een biologische gril die de basisintentie van de auteurs verraad, namelijk het buitensluiten van de ethiek van de technologie. In de kern verraad dit boek een technocratische monodisciplinaire visie).

Dr. Gerard Donkers