

Kwantumverstrengelingen: dodelijk of bevrijdend?

Ronny Desmet

Julian Schwinger, die in 1965 samen met Feynman en Tomonaga een Nobelprijs Fysica kreeg voor de kwantumelektrodynamica, stelde bij die gelegenheid¹: “The world view of the physicist sets the style of the technology and the culture of the society, and gives direction to future progress.” In deze lezing stel ik Schwingers uitspraak in vraag: Dringt het wereldbeeld van de natuurkundige wel door tot ons gemeenschappelijk gedachtegoed? En: Bepaalt dit wereldbeeld daadwerkelijk de stijl van de technologische ontwikkeling en van de samenleving van de toekomst? Mijn antwoord luidt, dat het zo’n vaart niet loopt. Het natuurkundige wereldbeeld dat met de kwantumrevolutie in de periode 1925-1935 gestalte kreeg, drong pas door tot het grote publiek midden jaren zeventig, en ook dan was het blijkbaar niet bij machte om de samenleving te transformeren. Zelfs de nieuwste technologieën, die hun bestaan nochtans ontlenuen aan de spilidee van het nieuwe wereldbeeld, dienen zich enkel aan als sterkere en snellere broertjes van de oudere technologieën. Niets nieuws onder de zon. Of toch?

De fysici die de kwantummechanica ontwikkelden, waren er zich in alle geval onmiddellijk van bewust dat met het ontstaan van de kwantummechanica ook de noodzaak ontstond om een nieuwe kennisleer en een nieuw wereldbeeld te ontwerpen. Van jongs af aan doordrongen van een gepragmatiseerd kantianisme en van een kierkegaardiaans ongelooft in alomvattende denkssystemen², voelde vooral Niels Bohr zich geroepen om de epistemologische koe bij de horens te vatten. Bohrs complementariteitler stelde dat de realiteit te complex is om gestalte te krijgen in het menselijke denken met behulp van universeel toepasbare concepten: meerdere, soms onverenigbare modellen en eigenschappen zijn vereist om de kwantumrealiteit in relatie tot waarnemingsinstrument en waarnemer te beschrijven. Bohrs leer, ook de Kopenhaagse interpretatie van de QM genoemd, vond vurige verdedigers in Heisenberg, Jordan en Pauli, maar het verschil met Einstein, Born en Schrödinger, die hunkerden naar een universele en observatieonafhankelijke kwantumtheorie, was groot. En dit verschil was niet enkel epistemologisch, ook ontologisch. Onder meer door het succes van zijn algemene relativiteit, waarin het heelal omvattende concept van een gravitatieveld met lokaal gedetermineerde eigenschappen centraal staat, was de late Einstein planckiaans realistisch geworden (i.t.t. de vroege, machiaans positivistische Einstein)³: hij vatte de realiteit op als bestaande uit substanties met welbepaalde eigenschappen, onafhankelijk van andere, niet-nabije substanties. In tegenstelling hiermee beschouwde Bohr de werkelijkheid als wezenlijk relationeel: niet de lokale substanties bepalen de relaties, maar het gehele netwerk van relaties bepaalt de substanties. De laatste troef die Einstein uitspeelde in het zogenaamde Einstein-Bohr debat was het EPR-argument uit 1935⁴. Uitgaande van twee niet-nabije, maar qua positie en impuls verstrengelde kwantumsystemen S1 en S2, meende Einstein (samen met Podolski en Rosen, vandaar: EPR) dat de kwantummechanische

¹ Geciteerd in: Helge Kragh, *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*. Princeton University Press, 1999, p.395.

² Voor Bohrs filosofische geesteshouding, zie o.a.: Dugald Murdoch, *Niels Bohr's Philosophy of Physics*. Cambridge University Press, 1990 (vnl. Hoofdstuk 10).

³ Voor Einsteins evolutie van machiaans positivist naar planckiaans realist, zie: Gerald Holton, ‘Mach, Einstein, and the search for reality.’ In: Gerald Holton, *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*. Harvard University Press, 1988, p.237-277.

⁴ Albert Einstein, Boris Podolski & Nathan Rosen, ‘Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?’ In: John Wheeler & Wojciech Zurek (ed.), *Quantum Theory and Measurement*. Princeton University Press, 1983, p.138-143.

beschrijving van S2, die afhankelijk is van de keuze van een meting op S1, onvolledig is. Zij kan immers niet alle elementen belichamen van de fysische realiteit van S2, die wel onafhankelijk is van gelijk welke meting op S1. Het argument mocht niet baten, want Bohr en zijn gevolg verwierpen Einsteins uitgangspunt dat er zoiets bestaat als de onafhankelijke fysische realiteit van S2, en zij verwijderden zich meer en meer van Einsteins lokale en substantiële eigenschappen in de richting van een relationeel holisme.⁵

Tegenwoordig heeft iedere ontwikkelde man of vrouw al wel eens van het Einstein-Bohr debat gehoord. Maar in de periode dat het debat plaatsvond, onttrok het zich grotendeels aan het gemeenschappelijke gezichtsveld, en was de kwantummechanica een irrelevante factor in de niet-gespecialiseerde ideeënwereld. Een voorbeeld: toen Husserl, eveneens in 1935, de geesteshouding van natuurwetenschappers als Galilei en Descartes aanwees als één van de belangrijkste oorzaken voor de crisis van de Europese mensheid, stelde hij uitdrukkelijk dat de geest van de natuurwetenschap met de komst van de kwantummechanica in beginsel niet veranderd was.⁶ Pas in de jaren zeventig werd het kwantumdebat voor het grote publiek zichtbaar. Maar vooraleer het zover was, moesten David Bohm en John Bell hun stempel nog op het debat drukken, en moesten ook de kwantumelektrodynamica en de *bootstrap* S-matrix theorie het relationeel holistische karakter van de kwantummechanica verder expliciteren.

Volgens Bohm wees niet enkel de verstrengeling van elementaire deeltjes m.b.t. positie en impuls op de onvolledigheid van de kwantummechanica, maar ook hun verstrengeling m.b.t. andere complementaire eigenschappen (zoals spin-componenten of polarisatie-oriëntaties). In een poging om de kwantummechanica te vervolledigen (die herinnert aan de pilootgolf-idee van De Broglie), associeerde Bohm in 1952 met ieder deeltje een onwaarneembare kwantumpotentiala die voldoende variabele eigenschappen verborg om Einstein genoegdoening te geven.⁷ Aan de ene kant verklaren het gebrek aan fysische relevantie en het niet-lokale karakter van Bohms potentialen en verborgen variabelen, waarom Einstein en zijn geestesgenoten toch niet enthousiast reageerden. Aan de andere kant was het voor Bohr en zijn geestesgenoten een raadsel hoe Bohms theorie überhaupt kon bestaan, want 'hun' Von Neumann had in 1932 de onmogelijkheid bewezen om de kwantummechanica te vervolledigen m.b.v. een verborgen variabelen theorie (VVT).⁸ In de jaren zestig slaagde Bell er echter in om aan te tonen dat Von Neumanns bewijs niet voor ieder type van VVT geldig is, en dat Bohms niet-lokale VVT van een type is dat zich aan het onmogelijkheidsverdict onttrekt.⁹ Anderzijds slaagde Bell er in 1964 eveneens in om aan te tonen dat iedere VVT die zich aan het onmogelijkheidsverdict onttrekt en daarenboven (i.t.t. Bohms VVT) lokaal is (en dus nauwer aansluit bij wat Einstein voor ogen stond), in de EPR-context (dus voor niet-nabije, maar verstrengelde deeltjes) noodzakelijk leidt tot statistische correlaties (tussen de metingen op die deeltjes) die afwijken van de overeenkomstige correlaties die voortvloeien uit de kwantummechanica.¹⁰ Bell wees dus op een in beginsel experimenteel te beslechten

⁵ Het beste overzicht van het Einstein-Bohr debat wordt nog steeds gegeven door: Max Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. John Wiley & Sons, 1974 (vnl. Hoofdstukken 5 en 6).

⁶ Edmund Husserl, *Gesammelte Werke (Husserliana) Band VI: Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendente Phänomenologie*. Martinus Nijhoff, 1992, p.53.

⁷ David Bohms oorspronkelijke voorstel in *Physics Review* werd door hem telkens opnieuw bijgeschaafd, al in 1957 in *Causality & Chance in Modern Physics* (University of Pennsylvania Press), vervolgens in 1980 in *Wholeness and the Implicate Order* (Routledge & Kegan), en ten slotte in 1993 in *The Undivided Universe* dat hij samen met Basil Hiley schreef (Routledge).

⁸ John von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton University Press, 1955 (vnl. §III.2, §IV.1 en §IV.2).

⁹ John Bell, 'On the problem of hidden variables in quantum mechanics.' In: John Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*. Cambridge University Press, 2004, p.1-13.

¹⁰ John Bell, 'On the Einstein-Podolski-Rosen paradox.' In: John Bell, op.cit., p.14-21.

verschil tussen iedere lokale VVT en de kwantummechanica. In 1972 leek het er sterk op dat de kwantummechanische correlaties in de context van het Clauser-Freedman-experiment correct waren, en niet de door Bell aan iedere lokale VVT toegeschreven correlaties. Finaal uitsluitsel ten voordele van de kwantummechanica, en ten nadele van Einsteins lokale eigenschappenrealisme, kwam er echter pas in 1982 met het veelbesproken experiment van Alain Aspect.¹¹

Het basisraamwerk voor de abstract mathematische en probabilistische beschrijving van atomaire en subatomaire fenomenen, kreeg gestalte tussen beide wereldoorlogen. Het was echter wachten tot na de tweede wereldoorlog vooraleer (in het verlengde van het werk van Dirac uit 1928) de kwantummechanica eind jaren veertig door Feynman, Schwinger en Tomonaga met Maxwells elektomagnetisme en met Einsteins speciale relativiteit werd verenigd. Het resultaat was de kwantumelektrodynamica, een kwantumveldentheorie van de elektromagnetische kracht en het erbij horende deeltjespark. Typisch is dat zij de elektromagnetische kracht beschrijft als een wisselwerking van fotonen. Was iets gelijkaardigs mogelijk voor de sterke kracht (de lijm die o.a. neutronen en protonen in atoomkernen samenhoudt) en voor de zwakke kracht (die een sleutelrol speelt bij het verval van o.a. radioactief uranium)? Het antwoord op deze vragen zou pas vele jaren later gegeven worden in termen van de kwantumchromodynamica en de elektrozwakke theorie, en in termen van het standaardmodel, de samensmelting van de kwantumveldentheorieën in één model, dat zowel alle gekende deeltjes beschrijft (met uitzondering van het graviton, de drager van de zwaartekracht), als de elektromagnetische, de sterke en de zwakke wisselwerking (alledrie door deeltjes bemiddeld).¹² In de jaren vijftig verliep de zoektocht naar een kwantumveldentheorie van de sterke kracht echter bijzonder moeizaam, en daarom werd in de jaren zestig een alternatief voor de kwantumveldenbenadering voorgesteld door Geoffrey Chew: de schoenveter S-matrix theorie.¹³ In deze theorie (die voortbouwt op Heisenbergs werk uit 1943) staan geen fundamentele deeltjes (zoals quarks) centraal, maar trekken natuurlijke gebeurtenissen zich als het ware consistent op aan de eigen schoenveters. Weliswaar werd Chews theorie in de jaren zeventig verdrongen door de kwantumchromodynamica, maar toch is zij op twee punten erg belangrijk. Eén: in de jaren tachtig werd Chews theorie terug opgevist als kandidaat voor een kwantumtheorie van de zwaartekracht, en ligt daardoor indirect aan de basis van de eind 20^{ste}-eeuwse supersnaartheorie. In deze ultieme unificatiedroom van de fysici worden alle soorten deeltjes beschreven (als verschillende trillingstoestanden van de supersnaar) en ook alle vier de fundamentele natuurkrachten. Twee: mid jaren zeventig werd Chews schoenvetertheorie populair in New Age kringen, en dit feit gaf (eindelijk!) aanleiding tot de verschijning van het kwantumdebat op het publieke forum.

Geïnspireerd door Bohms VVT en door de eerste experimentele weerlegging van Bells correlaties (allebei indicatoren van het niet-lokale of holistische karakter van de verstrengelde kwantumrealiteit), en geïnspireerd door Feynmans kwantumelektrodynamica en door Chews schoenvetertheorie (allebei indicatoren van het relationele en niet-materiële karakter van de kwantumwerkelijkheid), publiceerden Fritjof Capra en Gary Zukav in 1975 en 1979 hun megabestsellers met de ronkende titels *The Tao of Physics*¹⁴ en *The Dancing Wu-Li*

¹¹ Voor genoemde experimenten, zie o.a.: Amir D. Aczel, *Entanglement. The Greatest Mystery in Physics*. John Wiley & Sons, 2003 (vnl. Hoofdstukken 14 en 15).

¹² Voor een beknopt, maar helder introductie van de kwantumelektrodynamica, de kwantumchromodynamica, de elektrozwakke theorie, het standaardmodel en de supersnaartheorie, zie: Sander Bais, *De Natuurwetten: iconen van onze kennis*. Amsterdam University Press, 2005, p.76-92.

¹³ Chew was leerling van Enrico Fermi en leraar van John Schwarz, bekend i.v.m. de supersnaartheorie. Voor de geschiedenis van Chews theorie tot begin de jaren zeventig, zie: Helge Kragh, op.cit., p.336-339.

¹⁴ Fritjof Capra, *De Tao van Fysica. Een onderzoek naar de parallellen tussen de moderne fysica en oosterse mystiek*. Uitgeverij Contact, 1982

*Masters*¹⁵. Natuurlijk hadden de vaders van de kwantummechanica ook lezingen gegeven en essays geschreven over de metamorfose van het wereldbeeld. Zo verschenen in 1958: *Atomic Physics and Human Knowledge* van Bohr¹⁶, de Gifford-lezingen van Heisenberg¹⁷ en de Tarnier-lezingen van Schrödinger¹⁸. Toch vermochten deze drie filosofische parels, haast gelijktijdig voor de zwijnen gegooid, niet wat Capra en Zukav realiseerden: de publieke doorbraak van de idee dat de kwantummechanica een transformatie impliceert van een (in wezen zeventiende-eeuws) materialistisch, atomair en mechanistisch wereldbeeld naar een relationeel, holistisch en organisch wereldbeeld, en wat meer is, van de schwingeriaanse idee dat deze wereldbeeldtransformatie een soortgelijke cultuurtransformatie zal bewerkstelligen. Pas in de jaren zeventig was de tijd rijp voor deze ideeën, want in de nasleep van de studentenrevoltes, van de ontmaskering het wetenschappelijk-industrieel-militair complex als voedingsbodem voor de Vietnam-oorlog en voor de nucleaire dreiging¹⁹, van het Rapport van de Club van Rome dat de uitputting van het milieu in het vooruitzicht stelde²⁰, enzovoort, hunkerde het grote publiek naar een transformatie van wetenschap en samenleving, naar een nieuw tijdperk, *a new age*.

Niet dat er geen kritiek was op Capra en Zukav. Vooral de eerste, die een boegbeeld van de New Age beweging werd, moest het ontgelden. Met verachting schreef wetenschapsjournalist Nigel Calder²¹: “Een volgeling van Chew, Fritjof Capra, zwelgde in zijn boek *The Tao of Physics* in de filosofische gevolgtrekkingen van deze theorie.” En met ironie schreef wetenschapshistoricus Helge Kragh²²: “That the S-matrix theory had been abandoned by the large majority of physicists was a fact that seemed to be of no concern to Capra and was probably unknown by most of his readers.” Maar, zoals gezegd, Chews theorie werd in de jaren tachtig heropgevestigd en ligt mede aan de basis van de supersnaartheorie. Bovendien werd de wereldbeeldtransformatie-diagnose van Capra en Zukav ook buiten de New Age beweging gesteld²³, onder meer door procesdenkers. Dat is niet toevallig: al in het begin van de 20^{ste} eeuw voorvoelde de vader van de procesbeweging, Alfred North Whitehead, de metamorfose die zich voltrok in de natuurwetenschap, en al in 1925 (het jaar waarin Heisenberg zijn matrixmechanica publiceerde) maakte Whitehead in zijn Lowell-lezingen een aanvang met de explicitering van zijn organische wereldbeeld ter vervanging van het mechanistische.²⁴ Bekende natuurkundigen als Bohm en Chew, maar ook iets minder bekende natuurkundigen als Henry Stapp en kwantumlogicus David Finkelstein, waren tegelijk de belangrijkste inspiratoren voor Capra en Zukav, én gevierde sprekers op de

¹⁵ Gary Zukav, *De Dansende Woe-Li Meesters. Een overzicht van de nieuwe fysica*. Uitgeverij Bert Bakker, 1981

¹⁶ *The Philosophical Writings of Niels Bohr : Volume II*. Ox Bow Press, 1987

¹⁷ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy : The Revolution in Modern Science*. Prometheus Books, 1999

¹⁸ Erwin Schrödinger, *Mind and Matter*. Cambridge University Press, 1980

¹⁹ Voor een stukje geschiedenis van de aanval op de wetenschap in de zeventiger jaren, zie: Helge Kragh, op.cit., p.394-408 (=Hoofdstuk 26).

²⁰ *Rapport van de Club van Rome. De grenzen aan de groei*. Uitgeverij Het Spectrum, 1972

²¹ Nigel Calder, *Sleutel tot het heelal : nieuwe wegen in de moderne fysica*. Uitgeverij Bosch & Keuning, 1977

²² Helge Kragh, op.cit., p.404

²³ De New Age diagnose gaat vaak gepaard met oosterse spiritualiteit, alchemie, Carl Gustav Jung, enz. Ook dat roept weerstand op, maar is niet nieuw. Erwin Schrödinger en Robert Oppenheimer citeerden frequent de *Bhagavat-Gita*, Pascual Jordan en Wolfgang Pauli hadden frequent contact met Jung, enz. Merk op dat Pauli's uitsluitingsprincipe in feite een voorbeeld is van niet-lokale kwantumverstrengeling; dit verklaart mede de Pauli-Jung samenwerking m.b.t. 'synchroniciteit' (Jungs a-causaal, verbindend verklaringsbeginsel). Zie ook: *Atom and Archetype: The Pauli/Jung Letters 1932-1958*. Princeton University Press, 2001.

²⁴ Alfred North Whitehead, *Science and the Modern World*. Free Association Books, 1985. Merk op dat al sinds de tegenverlichting, *Sturm und Drang* en romantiek, door vele denkers de klemtoon gelegd wordt op de relationele, holistische en organische aspecten van de wereld, zodat gesteld kan worden dat het kwantumdebat en het New Age debat gestalten zijn van een al eeuwenoud debat dat onze Westerse cultuur kenmerkt.

conferenties van het *Center for Process Studies* in Claremont, California.²⁵ Zij stelden er in grote lijnen, net als de andere sprekers, waaronder de Belgische Nobelprijswinnaar Ilya Prigogine, dezelfde diagnose als Capra en Zukav.²⁶

Neen, het valt niet te ontkennen: het wereldbeeld van de kwantumfysici is doorgedrongen tot het gemeenschappelijke gedachtegoed, zij het veertig jaar na datum. Maar wat met Schwingers daaraan gepaarde belofte, dat een nieuw natuurwetenschappelijk wereldbeeld zich vertaalt in een nieuwe technologische stijl en een nieuwe samenleving? Welnu, deze belofte is nog steeds niet ingelost, noch door de New Age beweging, noch door de procesbeweging. Aan het begin van de 21^{ste} eeuw staan we weliswaar op de drempel van een nieuw technologisch tijdperk, en wordt uitgerekend de kennis van het niet-lokale karakter van kwantumverstrengelingen omgezet in technologieën als kwantumcryptografie en kwantumcomputers²⁷, maar helaas: van enige stijlbreek is geen sprake. Een verdergaande beveiliging van de transmissie van data en een verdergaande miniaturisering en acceleratie van computers zijn inderdaad juist dat: verdergaand, uitdrukkelijke voortzettingen van de technologische evolutie van de voorbije eeuw, voorbeelden van culturele pseudomorfen.²⁸ Blijkbaar ontleent de technologie haar karakter niet aan de wetenschap die haar voedt. En misschien is dit wel altijd zo geweest, want terwijl de thermodynamica en de elektrodynamica met stoommachines en elektromotoren de vaak mens- en natuurvernietigende industriële revolutie voortstuwden, stelden de natuurwetenschappers dat met de wetmatige omzetting van warmte in elektriciteit in beweging en omgekeerd, de overwinning van een nieuw energetisch wereldbeeld op een verouderd materialisme plaatsvond; de arbeiders in de steenkoolmijnen hadden er geen boodschap aan ... Noch de 19^{de}-eeuwse introductie van elektromagnetische toepassingen, noch de 20^{ste}-eeuwse introductie van kwantummechanische toepassingen (denk aan kernenergiecentrales, lasers in CD- en DVD-spelers, halfgeleidende chips in computers, enzovoort) impliceerden drastische sociaal-economische koerswijzigingen, dus waarom zou de 21^{ste}-eeuwse introductie van holistische kwantumtechnologieën onze samenleving dan ingrijpend transformeren? Waarom zouden, door de technische realisatie en exploitatie ervan, kwantumverstrengelingen niet het ultieme symbool worden van de dodelijke wurggreep van de technologie, in plaats van ons uit die wurggreep te bevrijden, en de fragmentatie van onze leefwereld en onze ziel te helen? De identificatie en de ontsluiting van de geestelijke krachtbron om de op hol geslagen technologische ontwikkeling in te tomen, en om de mens

²⁵ De lezingen van genoemde conferenties werden gepubliceerd, beginnend met *Physics and the Ultimate Significance of Time* van David Ray Griffin (ed.), en voorlopig eindigend met *Physics and Whitehead: Quantum, Process, and Experience* van Timothy Eastman en Hank Keeton (ed.), allebei uitgegeven door State University of New York Press, resp. in 1986 en in 2004.

²⁶ Niet toevallig luidt de ondertitel van *La Nouvelle Alliance* (Éditions Gallimard, 1979), de bestseller die Ilya Prigogine samen met Isabelle Stengers schreef: *Métamorphose de la science*. Evenmin toevallig is de hoofding van het besluit 'Le réenchantement du monde': hiermee wordt de hoop uitgedrukt op een her-betovering van de wereld die de door Max Weber vastgestelde *Entzauberung* terug ongedaan kan maken. 'Reenchantment' is trouwens een modebegrip in de New Age beweging, van Morris Berman's *The Reenchantment of the World* uit 1981 (vertaald bij Uitgeverij Bert Bakker, 1986) tot Ervin Laszlo's *The Reenchanted Cosmos* uit 2005 (vertaald bij Uitgeverij Ankh-Hermes, 2005). Hetzelfde geldt voor de procesbeweging, waar ook David Ray Griffin dit modebegrip opnam in boektitels als *The Reenchantment of Science* (State University of New York Press, 1988) en *Reenchantment without Supernaturalism* (Cornell University Press, 2001).

²⁷ Voor een uiteenzetting van kwantumcryptografie en kwantumcomputers, zie o.a.: Giancarlo Ghirardi, *Sneaking a Look at God's Cards: Unraveling the Mysteries of Quantum Mechanics*. Princeton University Press, 2005, p.292-330 (= Hoofdstukken 12 en 13)

²⁸ Ik spreek van culturele pseudomorfen in navolging van Oswald Spengler en Lewis Mumford, en verwijs ter verklaring naar 'het in de geologie bekende fenomeen, dat een rots zijn structuur kan behouden, zelfs als bepaalde elementen uitgelooft en door ander materiaal vervangen zijn. Omdat de uiterlijke structuur van de oorspronkelijke rots blijft bestaan, wordt het nieuwe product een pseudomorf genoemd.' (Hans Achterhuis, *De maat van de techniek*. Uitgeverij Ambo, 1992, p.231)

en de natuur terug centraal te stellen, is de belangrijkste 21^{ste}-eeuwse uitdaging voor de wetenschapsfilosofie, of zelfs voor de filosofie zonder meer.