

Bijzondere kwaliteiten van water (5) – een solide basis van moderne natuurwetenschappelijke inzichten

Hans van Sluis (gepensioneerd watertechnoloog DHV)

Natuurwetenschappelijke verklaringen voor het eigenwijze gedrag en de bijzondere kwaliteiten van water waren lange tijd onbekend, onduidelijk of onvolledig. Daarin is in de afgelopen drie decennia veel veranderd, maar de modernste inzichten zijn buiten de wereld van de gespecialiseerde onderzoekers nog geen gemeengoed. Kennis hiervan is echter onmisbaar om water goed te begrijpen. In dit artikel wordt een begin gemaakt om de kloof tussen de fundamentele kennis en de toegepaste waterwetenschappen te overbruggen.

“...of all known liquids, water is probably the most studied and least understood.”

Felix Franks, 1972 [1]

In vier eerdere artikelen is de intrinsieke kwaliteit van water geduid [2], [3], [4], [5]. Het eigenwijze gedrag van water en de grote verscheidenheid aan bijzondere kwaliteiten zijn tegen het einde van de twintigste eeuw in verband gebracht met de moleculaire ordening [6], [7], [8], [9]. Deze kan in water op nanoschaal behoorlijk variëren, maar is toch niet volledig chaotisch, zoals bij een ‘normale’ vloeistof. Niet alle water is, ontdaan van allerlei erin aanwezige stoffen en organismen, hetzelfde.

Een intermoleculaire structuur van water in de vorm van veronderstelde flexibele clusters werd als mogelijke verklaring gezien voor de afwijkende eigenschappen. In het hierna beschreven, deels zeer recente, fundamentele onderzoek is dit concept verder ontwikkeld en aangepast. Een en ander heeft geleid tot een verrassend en uiterst gedetailleerd natuurwetenschappelijk beeld van water. Het vraagstuk van de anomalieën geldt nu als grotendeels opgelost en er gloort beginnend inzicht in de (mogelijke) verschillen in de bio-energetische waterkwaliteit.

In dit beschouwend overzicht wordt de ontwikkeling in denken over de eigenschappen van water in de afgelopen 50 jaar geschetst. Deze ontwikkeling is nauw verweven met de opkomst van de kwantumtheorie en de toepassing ervan op alles wat vloeibaar is.

Kwantumtheorie

De opkomst van de kwantummechanica, nu ongeveer een eeuw geleden, heeft de natuurwetenschap van een volledig nieuw fundament voorzien. Dat heeft in onder meer de fysica, chemie en astronomie geleid tot een stroom van doorbraken die nog steeds niet is opgedroogd en die vele oude en nieuwe vragen omtrent de aard van de materie heeft opgehelderd. De focus lag lange tijd op stoffen in vaste toestand en op toepassingen in de materiaalkunde. Pas in de jaren 70 van de vorige eeuw kwam er onder kwantumonderzoekers ook aandacht voor het vloeibare. Het (macroscopische) gedrag van vloeistoffen bleek echter, anders dan van de meeste vaste stoffen, niet volledig te verklaren uit de destijds bekende eigenschappen van atomen en moleculen. Vele kenmerken van de vloeistof die ons aan alle kanten omringt en doordringt - water - verschillen bovendien van wat gevonden wordt bij verbindingen die er chemisch of fysisch sterk mee verwant zijn.



Afbeelding 1. Het drijfvermogen van ijs is de bekendste anomalie van water

Deze 'vloeistofanomalieën' ontketenden een intensieve speurtocht naar verklaringen voor de bijzondere eigenschappen van water. Deze verliep via empirie en theoretische modellen. Materiaalkundigen, die al ruime ervaring hadden opgedaan met de toepassing van de kwantummechanica op de vaste stoffen, stonden ook aan de wieg van de moderne waterwetenschap [10].

De kwantumtheorie is een geheel van natuurkundige concepten uit het begin van de twintigste eeuw. Deze theorie stelt dat op atomaire en subatomaire schaal de grootheden energie, impulsmoment en magnetisch moment slechts in bepaalde discrete (niet-continue) waarden kunnen voorkomen. Het fenomeen heet *kwantisatie*, de waarden zelf worden *kwanta* genoemd. Verder beschrijft de theorie dat materie en energie als een deeltje en als een trillingsverschijnsel kunnen optreden. De methode van waarnemen is daarbij bepalend voor wat wordt waargenomen. Tussen 1920 en 1930 ontstond uit deze concepten als samenhangende wetenschappelijke discipline de kwantummechanica. Deze vormt de basis van de 'moderne natuurkunde' [11].

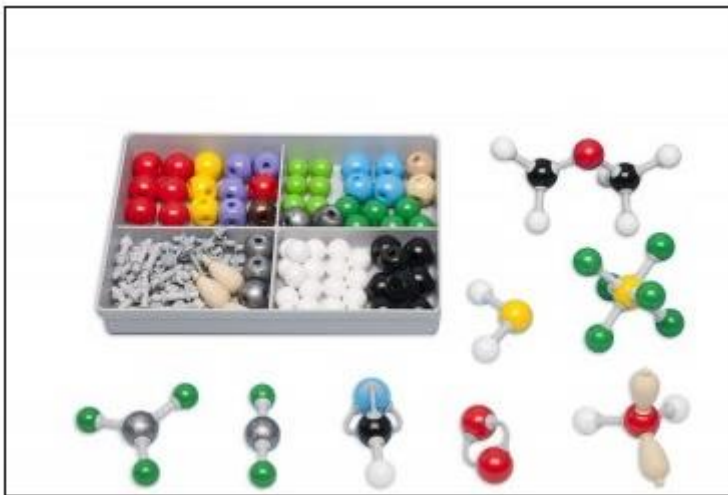
Een van de belangrijkste bouwstenen van deze moderne natuurkunde is het gegeven dat niet alle kenmerken van elementaire deeltjes met hoge nauwkeurigheid kunnen worden vastgesteld. Er is een vaste waarde voor de onzekerheid in het product van twee - paarsgewijs gekoppelde - fysische grootheden. Bij een elementair deeltje kan bijvoorbeeld van de paren plaats en snelheid en energie en levensduur slechts een van de twee grootheden exact worden bepaald. Dit is de onzekerheidsrelatie van Heisenberg, die wijst op een fundamentele onbepaaldheid in de stoffelijke natuur. Deze onbepaaldheid heeft grote consequenties voor de verschijnselen op atomaire en subatomaire schaal, en heeft indirect gevolgen voor de macroschaal van alledag, zoals het optreden van de wateranomalieën.

Afscheid van het vlakke watermolecuul

Door het abstracte, wiskundige karakter van de kwantumtheorie ontstond er bij de doorvertaling van de moderne fundamentele wetenschappelijke inzichten een achterstand onder niet-fysici. De afbeeldingen 2 en 3 weerspiegelen dit. Wetenschappers van de andere disciplines, waaronder de biologie, konden veelal nog prima uit de voeten met de klassieke benadering. Ook in de waterwetenschappen was er lang weinig aandacht voor de implicaties van de moderne natuurkunde.

“Biology has forgotten water, or never discovered it”

Bioloog en nobelprijswinnaar Albert SzentGyörgyi, 1971



Afbeelding 2. Chemie-onderwijs met de ‘oude’ molecuulbouwdoos, die nog steeds in gebruik is

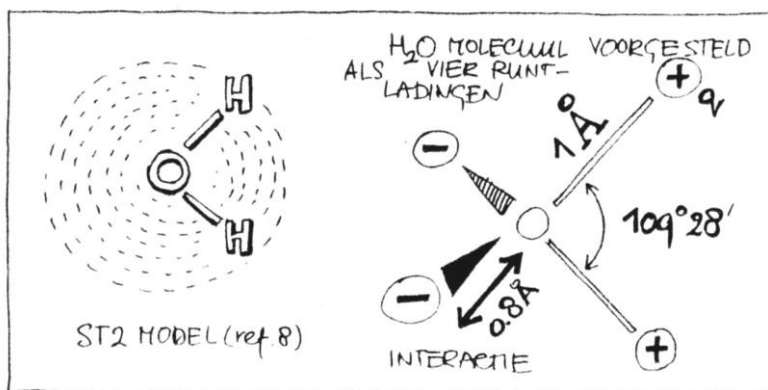
This is just a picture of the orbitals. Aren't these crazy looking? This is why we just draw Bohr models even though we know they are not correct.

Joel M Williams ©2013
JMW
11-11

THE spdf ORBITALS (An artistic rendition)			
TYPE	SET	INDIVIDUAL ORBITALS	COLLECTIVE
f	Cubic		
	General		
d	Common		
	"Tri-torus"		
p			
s			

Afbeelding 3. Moderne opvatting van de elektronenbanen (orbitals) met commentaar van de docent

Het afscheid van het vlakke watermolecuul was een van de eerste stappen op de weg naar nieuw inzicht. Sinds de jaren 70 van de vorige eeuw is een ruimtelijke structuur van het watermolecuul algemeen geaccepteerd, met twee positieve en twee negatieve puntladingen op de hoekpunten van een tetraëder (zie afbeelding 4) [12]. Volgens de kwantummechanica is een tetraëderstructuur van de elektronenbanen de energetisch meest aantrekkelijke vorm voor het watermolecuul. Waterstofbruggen tussen de zuurstofatomen van de moleculen in elkaars buurt en Van der Waalskrachten werden verantwoordelijk geacht voor de algehele moleculaire samenhang in de vloeistoffase.



INTERACTIEMODEL. Elke puntlading heeft de grootte van ongeveer een kwart van een elektronlading. Er is een Van-der-Waals aantrekking en een korte-afstand-afstoting tussen de zuurstofatomen.

Afbeelding 4. Overgang van een 2D- naar een 3D-model van het watermolecuul

Verder rekenkundig onderzoek concentreerde zich op kwantitatieve afleiding van de fysische eigenschappen van water, waaronder de anomalieën. Deze berekeningen werden uitgevoerd op basis van de fundamentele atomeigenschappen van waterstof en zuurstof uit de kwantummechanica, aangevuld met empirische spectroscopische gegevens. Zo lukte het om bijvoorbeeld het anomale dichtheidsmaximum van water bij 4 °C op te helderen [13].

Voorspelling van het gedrag van water

Ondanks deze grote successen slaagde men er toch lange tijd niet in om de eigenschappen en het gedrag van water volledig uit de atomeigenschappen te verklaren. De onderlinge wisselwerking tussen watermoleculen was onvoldoende in de theorie verdisconteerd. Voor dat laatste moest de kwantumelektrodynamica (QED) op water worden toegepast. Deze is erop gebaseerd dat naast de energie (van de stof), ook het elektromagnetische veld (van de lege ruimte) is gekwantiseerd en dat beide kwantisaties zijn gekoppeld [14]. Deze – zuiver wiskundige – benadering maakt een zeer exacte voorspelling van de fysische kenmerken van atomen en moleculen mogelijk, inclusief hun onderlinge wisselwerking. Eind jaren '80 publiceerden de theoretisch fysisch Emilio del Giudice (1940-2014) en zijn team dergelijke berekeningen voor water. Daarmee voorspelden zij het optreden van zogeheten *kwantumcoherentie* bij normale temperatuur en druk en bereikten zo een belangrijke doorbraak [15]. Zij ontdekten dat door de interactie van het elektromagnetische veld (in de vorm van licht) en moleculen van vloeibaar water grote, stabiele zogeheten coherentiedomeinen (CD's) kunnen worden gevormd. Deze domeinen hebben een karakteristieke afmeting van 10 à 100 nm [16]. De moleculen die samen een coherentiedomein vormen trillen en oriënteren zich synchroon, alsof het een enkelvoudig molecuul betreft (zie de afbeeldingen 5 en 6).



Afbeelding 5. In een coherentiedomein gedragen de afzonderlijke moleculen zich als spreuwen in een zwerm

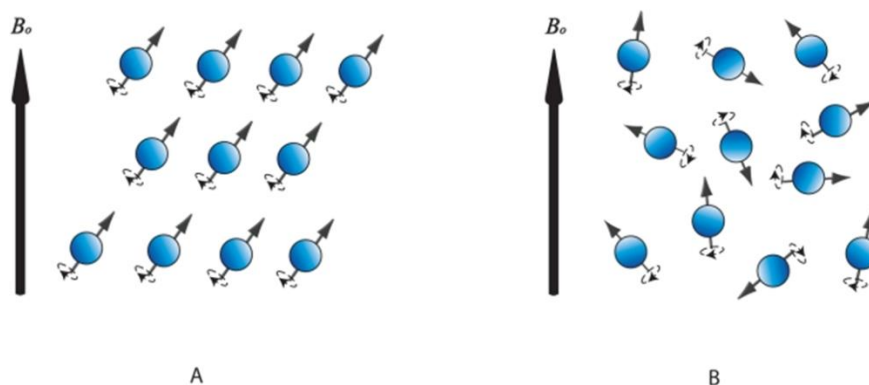
De vorm en eigenschappen van deze coherentiedomeinen boden uitzicht op een op algemene kwantummechanische principes gebaseerde moleculaire verklaring voor het specifieke gedrag van water.

Een empirisch bewijs voor het bestaan van coherentiedomeinen in water bleek echter, ondanks de wiskundige zekerheid van de berekeningen, moeilijk te vinden. Totdat een verfijning van de theorie aan het licht bracht dat in water alleen domeinen met een vlakke structuur stabiel zijn [17]. Ze moeten dus niet in de bulk van de vloeistof, maar vooral aan grensvlakken worden gezocht. Met deze constatering vielen de puzzelstukken in elkaar en konden talrijke waarnemingen van vlakke structuren aan de grensvlakken van hydrofiele stoffen in water en – in het bijzonder – in biologische systemen worden geduid. Ook de door Gerald Pollack gepostuleerde ‘vierde fase’ van water past in dit beeld [18].

Coherent en niet-coherent water

Het onderscheiden van coherent water naast niet-coherent water is een vruchtbaar concept gebleken. Tussen de coherentiedomeinen in bevindt water zich in een niet geordende, chaotische toestand. De vertrouwde waterstofbruggen, waaraan door de klassieke watertheorie de kenmerkende sterke samenhang tussen de moleculen werd toegeschreven, kunnen volgens de kwantumfysicus Marc Henry beter worden verklaard - en nauwkeuriger voorspeld – uit de koppeling tussen de gekwantiseerde energieniveaus van de watermoleculen en het eveneens gekwantiseerde elektromagnetisch veld binnen een coherentiedomein [19]. Afhankelijk van de omstandigheden is water weinig (in vers gedestilleerd water) tot volledig (in een levende cel) coherent. Het karakter van de coherentie wordt bepaald door de – energetische – invloed die ten tijde van de vorming heerste. Aan grensvlakken met hydrofiele stoffen ontstaan coherentiedomeinen spontaan en zijn ze relatief gemakkelijk waar te nemen [20]. Onder invloed van specifieke stromingspatronen worden er hoogstwaarschijnlijk ook in de bulk van de vloeistof gevormd, maar de detectie daarvan is nog niet gelukt.

Een jarenlange controverse [21], [22] over het in water naast elkaar bestaan van twee vloeistoffasen, Low Density Liquid (LDL) en High Density Liquid (HDL), geldt in het licht van coherentie als opgelost [23]. Marc Henry en anderen legden verband met de coherentiedomeinen en duiden de fase van het coherente water als LDL. HDL-water is niet coherent en gedraagt zich min of meer klassiek.



Afbeelding 6. Ruimtelijke oriëntatie van geladen deeltjes. A: coherentie (all spins 'up') B: chaotische, niet-coherente deeltjes

Clusters

In het begin van dit artikel werd gewezen op het begrip 'cluster', waarmee de interne structuur van water vaak wordt omschreven. Het zijn aggregaten van watermoleculen waaraan op grond van spectroscopisch onderzoek een bepaalde structuur kan worden toegeschreven. Er is verschil tussen kleine, stabiele structuren (oligomeren) van twee tot zes moleculen die vooral voorkomen in waterdamp [6] en grote structuren die voorkomen in vloeibaar water [9], [24]. In tegenstelling tot de kleine clusters zijn de grote aggregaten echter nooit eenduidig beschreven en empirisch vastgesteld. Er werd ook tegen ingebracht dat door de uiterst korte levensduur van de waterstofbindingen (10^{-15} s) van een stabiel aggregaat geen sprake kan zijn. Dit laatste is door de coherentie-benadering weerlegd.

Verwijzend naar de flexibele moleculaire structuren is ook wel gesproken van water als 'vloeibaar kristal'. Anderen zagen er juist een kristallijne vloeistof in. Beide aanduidingen wijzen op een aspect in het gedrag van water dat doet denken aan dat van vaste stoffen. Toch blijft het vloeistofgedrag van deze verbinding tussen twee gassen het meest kenmerkende.

Coherentiedomeinen en het 'geheugen van water'

Bij de temperaturen waarbij water vloeibaar is, is een fractie van de moleculen coherent en verkeert een andere fractie in een niet-coherente, chaotische toestand. Het elektromagnetische veld van de afzonderlijke coherentiedomeinen waaruit de eerste fractie is opgebouwd kan in twee verschillende spintoestanden ('up' en 'down') verkeren (afbeelding 6, links). Daarmee kan elk coherentiedomein als een binaire schakelaar fungeren, die met een (uiterst) geringe aanslagenergie, van bijvoorbeeld licht of turbulentie, kan worden omgezet. Het gigantische aantal coherentiedomeinen dat in water voorhanden is vormt als geheel een onvoorstelbaar grote digitale opslagcapaciteit. Marc Henry [25], [26] heeft aannemelijk gemaakt dat het water in een menselijk lichaam voldoende 'geheugencapaciteit' heeft voor alle benodigde informatie om dit levende systeem te definiëren en te laten functioneren.

Ook ziet hij in deze opslagcapaciteit een fysische verklaring voor het verschijnsel van de homeopathische potentiëring, waarbij ondanks een extreem hoge verdunning – tot voorbij de grens van klassiek-fysisch voorstelbare moleculen – een zekere werking gehandhaafd blijft [27], [28]. In ruimere zin is hiermee tevens een mogelijke verklaring gegeven voor de zogeheten vitalisering van water. De beide processen blijken in het licht van de moderne waterwetenschap te berusten op een fysisch reëel verschijnsel, wat overigens nog niets zegt over een eventuele therapeutische werking en de waarde ervan.

“Moleculen kun je wel verdunnen, maar het (elektromagnetisch) veld niet”.

Marc Henry [28].

Water en leven

Al in 1943 gaf de kwantumfysicus Erwin Schrödinger (1887-1961) college aan jonge studenten over de vraag ‘What is life?’ [29]. Tegenwoordig weten we dat water een onlosmakelijk deel van het antwoord is. Door de interne ordening van een coherentiedomein kan uit de tien elektronen die ieder watermolecuul telt, er een met relatief weinig energie worden vrijgemaakt. Mae-Wan Ho (1941-2016) en andere biochemici veronderstelden een belangrijke rol van deze vrije elektronen bij de energiehuishouding van levende organismen [30]. Theoretisch en experimenteel fysicus Eshel Ben-Jacob (1956-2015) beschouwde water als het ‘actieve weefsel van de levensverschijnselen’ [31], [32]. De in het begin van dit artikel aangehaalde verzuchting van Albert SzentGyörgyi is door de gegroeide samenwerking van biologen en kwantumfysici achterhaald.

Conclusies

- De zogenoemde anomalieën van water zijn kwantitatief verklaarbaar uit de kwantummechanische eigenschappen van het waterstof- en het zuurstofatoom, uit de aard van hun verbinding in het molecuul H₂O en uit de interacties tussen de watermoleculen onderling. In het licht van deze nauwkeurige wetenschappelijke verklaarbaarheid is H₂O (het meest talrijke molecuul), c.q. water (de meest op aarde voorkomende vloeistof) een volkomen normale stof.
- Water kan gegevensdrager zijn: aggregaten van watermoleculen op nanoschaal – coherentiedomeinen – zijn moduleerbaar, voldoende stabiel en voldoende talrijk om onder bepaalde omstandigheden te functioneren als geheugenelementen.
- De verwevenheid van water en leven blijkt in het licht van de moderne natuurkunde alleen maar sterker, veelvormiger en relevanter te zijn dan al bekend was.
- Dit korte overzicht van de moderne waterwetenschap heeft nog weinig concrete aanknopingspunten opgeleverd voor het begrijpen van de processen die ten grondslag liggen aan de in twee eerdere bijdragen besproken beeldvormende onderzoeksmethoden [4], [5]. Daarvoor moet worden ingegaan op de eigenschap die water als vloeistof het meeste kenmerkt: stroming.

Referenties

1. Claassen, T. (2020). 'Bijzondere kwaliteiten van H₂O – een vierde aspect van waterkwaliteit'. *H₂O-Online*, 13 februari 2020
2. Claassen, T., Silvis, F. (2020). 'Bijzondere kwaliteiten van H₂O – voorbeelden van het vierde aspect van waterkwaliteit'. *H₂O-Online*, 23 april 2020
3. Sluis, J. W. van, Claassen, T. (2020). 'Bijzondere kwaliteiten van water (3) – Beeldvormend onderzoek van levenskwaliteit: fysische en chemische methoden'. *H₂O-Online*, 22 juli 2020
4. Sluis, J.W. van, Claassen, T. (2020). 'Bijzondere kwaliteiten van water (4) – Beeldvormend onderzoek van levenskwaliteit: biologische en sensorische methoden'. *H₂O-Online*, 27 juli 2020.
5. Franks, F. (ed.) *Water. A comprehensive treatise. Vol. 1. The physics and physical chemistry of water*. 1972, Plenum Press: New York/London.
6. Liu, K., Cruzan, J.D. en Saykally, R.J. (1996). 'Water clusters'. *Science* **271** (16 feb 1996): p. 929-33.
7. Chaplin, M. (2000). 'A Proposal for the Structuring of Water'. *Biophysical chemistry*. **83**: p. 211-21.
8. Keutsch, F.N. en Saykally, R.J. (2001). 'Water clusters: Untangling the mysteries of the liquid, one molecule at a time'. *PNAS* **98**(19): p. 10533-10540.
9. Daviss, B., *Structured Water is Changing Models - Large water-molecule clusters may be crucial to cellular processes*, in *The Scientist*. 2004. p. 14 - 15.
10. Roy, R., Tiller, W.A., et al. (2005). 'The structure of liquid water; Novel insights from materials research; potential relevance to homeopathy'. *Materials Research Innovation* **9**(4): p. 577-608.
11. Wikipedia: *Kwantummechanica*. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kwantummechanica>, geraadpleegd mei 2020.
12. Berendsen, H.J.C. (1979). 'Water, het meest bekend, het minst begrepen'. *Chemisch Weekblad*: p. m483-9.
13. Donchev, A.G. et al. (2006). 'Water properties from first principles: Simulations by a general-purpose quantummechanical polarizable force field'. *PNAS*. **103**(23): p. 8613-8617.
14. Preparata, G. (1995). 'QED Coherence in Matter'. *World Scientific*. 252 pp.
15. Del Giudice, E., Preparata, G. and Vitiello, G. (1988). 'Water as a Free Electric Dipole Laser'. *Physical review letters* **61**: p. 1085-1088.
16. Del Giudice, E. (2010). *Formation of Dissipative Structures in Liquid Water*, in *Fourth Annual Conference on the Physics, Chemistry and Biology of Water*. University of Washington - WATER Vol 2, Suppl 1, 1 - 45, West Dover, Vermont.
17. Sen, S., Gupta, K. en Coey, J.M.D. (2015). 'Mesoscopic structure formation in condensed matter due to vacuum fluctuations'. *Physical Review B* **92**(155115): p. 1-5.
18. Pollack, G.H. (2013). *The fourth Phase of Water - beyond solid, liquid and vapor*. Seattle: Ebner & Sons Publishers.
19. Henry, M. (2015). 'The Hydrogen Bond. Inference' *Int. Rev. Sci.* **1**(2): p. 1-14.
20. Chai, B. en Pollack, G.H. (2010). 'Solute-Free Interfacial Zones in Polar Liquids'. *J. Phys. Chem. B*. **114**(16): p. 5371-5375.
21. Li, Y., Li, J. en Wang, F. (2013). 'Liquid-liquid transition in supercooled water suggested by microsecond simulations'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **110**(230): p. 12209-12212.
21. Maestro, L.M. et al. (2016). 'On the existence of two states in liquid water: impact on biological and nanoscopic systems'. *International Journal of Nanotechnology*. **13**(8-9): p. 667-677.

23. Bono, I., Del Giudice, E., et al. (2012). 'Emergence of the Coherent Structure of Liquid Water'. *Water* 2012. **4**: p. 510-532.
24. Henry, M. (2009). 'Water: Facts without Myths'. *Water* **1**(1): p. 3-4.
25. Henry, M. (2017). 'Water coherence domains revisited', in *12th Conference on the Physics, Chemistry and Biology of Water*. Sofia.
26. Sluis, J.W. van (2018). *Samenvatting keynote voordracht Marc Henry in Water en Leven*. Stichting Water Drager van Leven: Amsterdam.
27. Henry, M. (2017). 'The physics and chemistry of high-dilutions'. *Natur'Eau Quant* 2017 <http://www.cienciahomeopatia.com/wp-content/uploads/2017/05/pr-marc-henry-the-physics-and-chemistry-of-high-dilutions.pdf>, geraadpleegd op 12 november 2019.
28. Gast, M.K.H. en Sluis, J.W. van (2019). 'Water en Leven'. *TIG - Tijdschr. v. Integr. Geneeskunde* **34**(1): p. 25-6.
29. Schrödinger, E. (1955), *What is life? The physical aspect of the living cell*. Gebaseerd op colleges aan het Trinity College, in februari 1943; herdruk van de eerste uitgave van 1944, Cambridge: Cambridge University Press.
30. Ho, M.-W. (2014). 'Illuminating Water and Life'. *Entropy* (16): p. 4874-4891.
31. Ben-Jacob, E. (2009). 'Towards a systemic view of water as the fabric of life', in *Fourth Annual Conference on the Physics, Chemistry and Biology of Water*. University of Washington - WATER Vol 2, Suppl 1, 1 - 45, West Dover, Vermont.
32. Ball, P. en Ben-Jacob, E. (2014). 'Water as the Fabric of Life'. *Eur. Phys. J. Special Topics* (223): p. 849–852.