

Is fotosynthese quantummechanisch?

In 1944 schreef Erwin Schrödinger een boek getiteld *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. In deze tijd was het bestaan van moleculen en de werking van DNA als basis voor overerving helemaal nog niet zeker. Schrödinger geloofde echter dat effecten van de moderne quantumtheorie ook moeten gelden in levende organismen; dat quantumeffecten terug te zien zijn op macroschaal. Lang werd geloofd dat dit inderdaad zo was.

[Eerder](#) heeft Emma Loos op deze site de quantumfysica achter DNA onder de loep genomen. In dit artikel gaan we in op een ander complex natuurverschijnsel: fotosynthese. Lang werd geloofd dat Schrödinger gelijk had wat betreft fotosynthese, namelijk dat dit proces voor zijn efficiëntie afhankelijk is van quantumeffecten. Maar is dat echt zo?



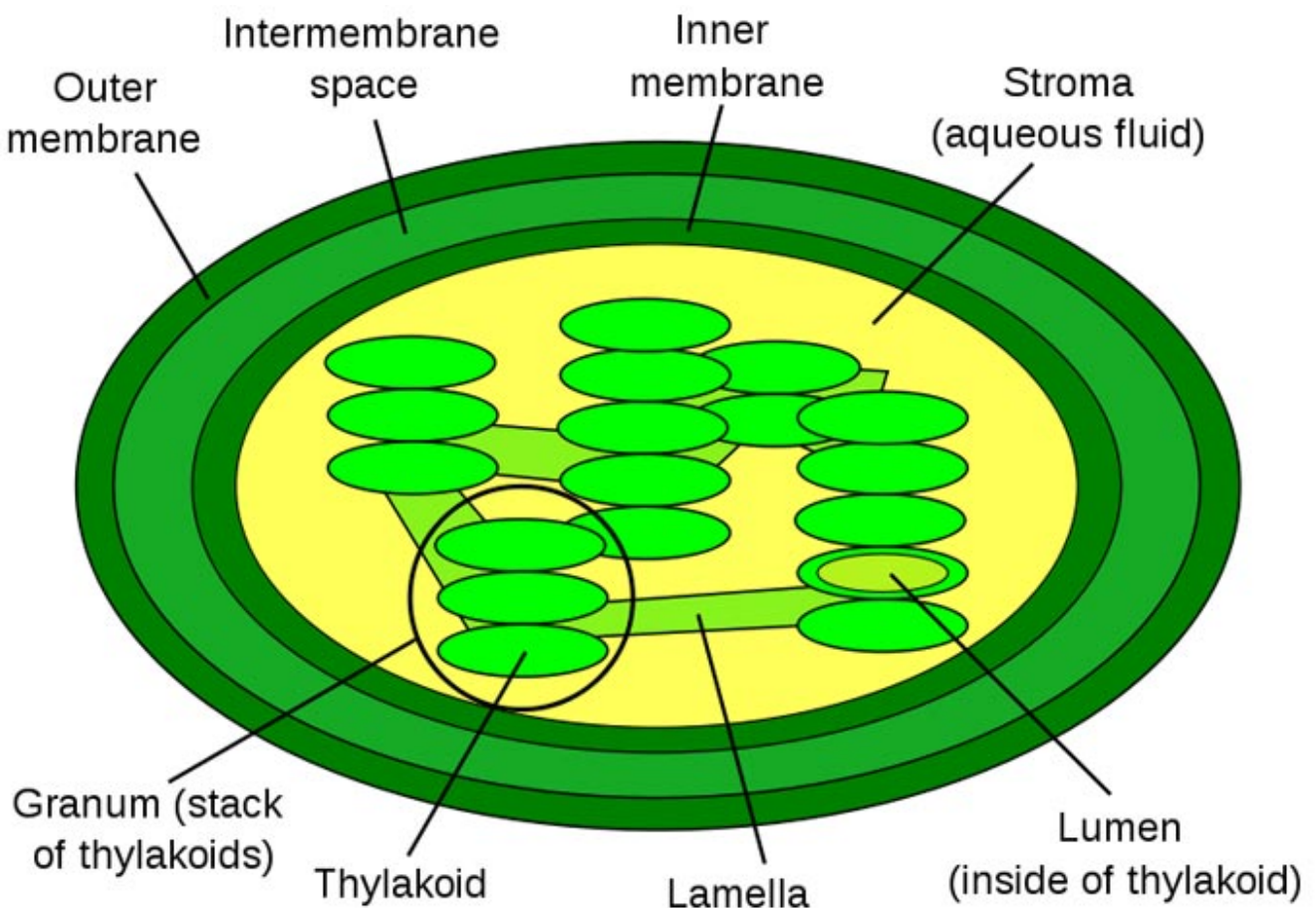
Afbeelding 1. Een blad onder de microscoop. Te zien zijn de verschillende cellen met daarin de bladgroenkorrels.

Hoe werkt fotosynthese?

Om te snappen hoe quantumprincipes op zouden kunnen treden bij fotosynthese, moeten we eerst begrijpen hoe fotosynthese überhaupt werkt. De organellen (celonderdelen) waar fotosynthese plaatsvindt heten bladgroenkorrels, of, als je extra wetenschappelijk wil klinken, chloroplasten. Hierin bevinden zich structuren genaamd thylakoïden. In het membraan van de thylakoïden bevindt zich het zogenaamde fotosysteem, een verzameling van verschillende proteïnen, waaronder pigmenten waarvan de bekendste chlorofyl is. Chlorofyl absorbeert vooral blauw en rood licht, maar weerkaatst groen licht – vandaar dat de meeste planten groen zijn. Chlorofyl-moleculen absorberen zonlicht waardoor ze in een aangeslagen toestand komen. De energie moet vervolgens overgebracht worden op een andere groep proteïnen in het fotosysteem, het zogenaamde reactiecentrum.

Hier wordt de energie gebruikt om positieve en negatieve ionen van elkaar te splitsen, waardoor een potentiaalverschil ontstaat dat nodig is in de productie van ATP of NADPH,

moleculen die kunnen dienen als tijdelijk 'energieopslag.' In andere reacties leveren ATP of NADPH energie voor diverse biochemische processen, zoals bij de reactie waarin CO₂ en water worden omgezet in suikers. Dit proces kan dus alleen plaatsvinden onder invloed van licht (fotonen). De zuurstof die hierbij geproduceerd wordt is de hoofdbron van alle zuurstof op aarde en de reden dat andere organismen die zuurstof nodig hebben om te leven, hebben kunnen evolueren. De suikers die geproduceerd worden, worden door andere organismen, zoals mensen, gegeten om hun energie uit te halen.



Afbeelding 2. Bladgroen. De verschillende onderdelen van een bladgroenkorrel.

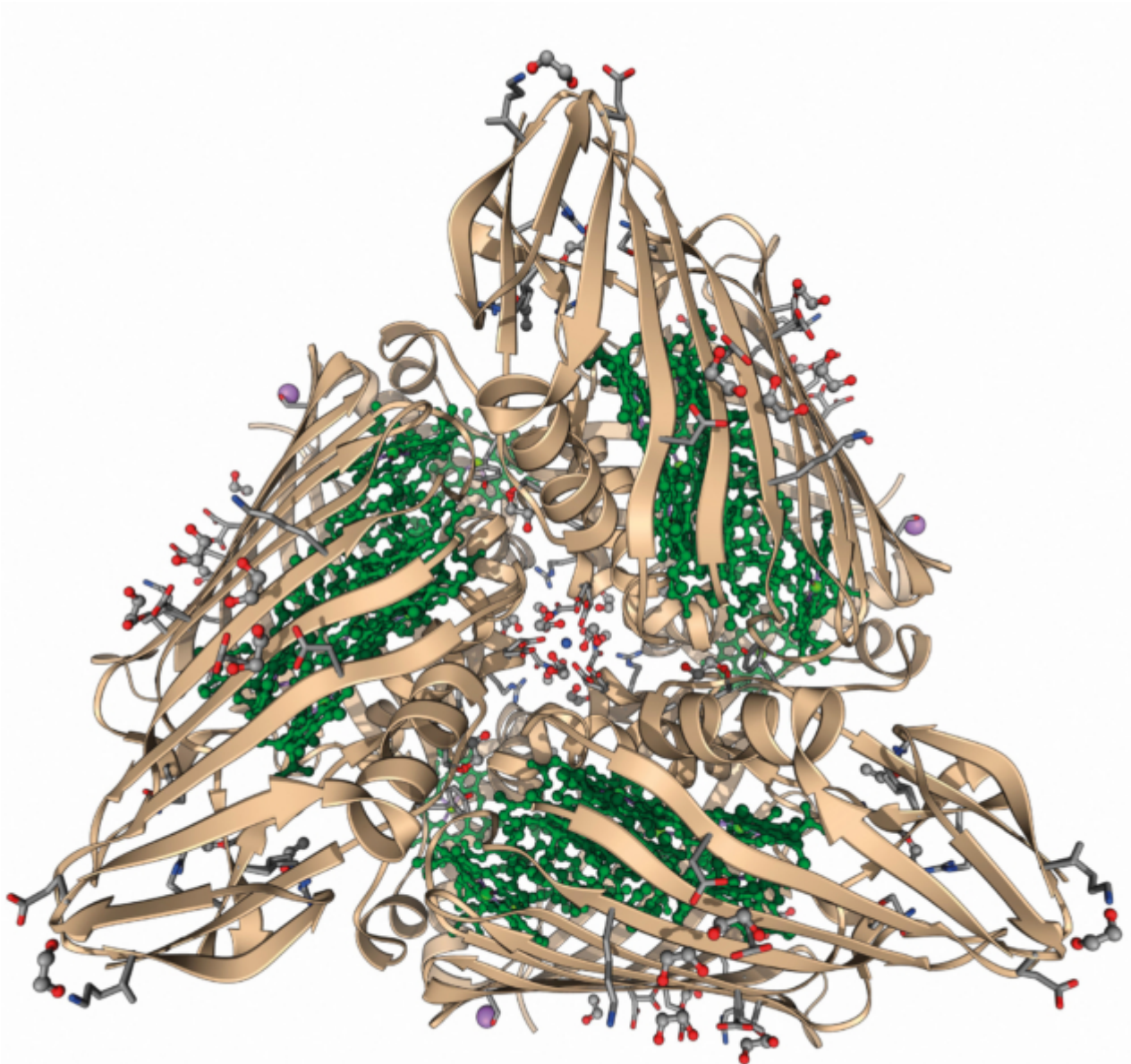
Quantumeffecten

In 2007 werd een artikel gepubliceerd [6] waarin geclaimd werd dat quantumeffecten geobserveerd waren in het fotosynthetisch proces en een significante rol speelden in de efficiëntie daarvan. Het proces waar quantumfysica een rol zou spelen is de overdracht van de excitatie-energie van de chlorofyl-moleculen naar het reactiecentrum. Men dacht dat deze overdracht gebeurde doordat chlorofyl-moleculen hun energie overgaven aan andere

chlorofyl-moleculen die zich in de buurt bevonden en een lagere energie hadden, en dat de energie zo heen en weer hopte tot het aankwam bij het reactiecentrum. Maar wanneer er [quantumcoherentie](#) zou optreden tussen de excitaties, kon deze energieoverdracht veel efficiënter plaatsvinden. Dan zou de excitatie zich in een [superpositie](#) kunnen bevinden verdeeld over verschillende chlorofylen, en zo sneller de weg naar het reactiecentrum kunnen vinden “door meerdere wegen tegelijk te bewandelen”. Dit proces wordt vaak vergeleken met [quantumcomputers](#) die “meerdere berekeningen tegelijk kunnen uitvoeren”.

Toch niet?

Sinds het artikel uit 2007 is het debat over de vraag of quantumcoherentie inderdaad zo'n grote rol speelt bij fotosynthese verhevigd. Critici zeiden dat, omdat de coherentie in het onderzoek bij een veel lagere temperatuur werd gemeten dan die waarbij planten normaal functioneren, de conclusie niet vertaald kon worden naar de efficiëntie van fotosynthese in planten. Daarnaast kon het gemeten effect mogelijk ook verklaard worden door molecuultrillingen, en was de tijdsduur van de geobserveerde aangeslagen toestanden veel langer dan op basis van de theorie verwacht zou worden.



Afbeelding 3. Een reactiecentrum. Reactiecentrum van de groene zwavelbacterie.

In 2018 is een nieuw onderzoek gedaan door wetenschappers van de Rijksuniversiteit Groningen. Zij bekeken de groene zwavelbacterie, die een relatief simpel fotosynthetisch systeem bevat. Om uit te sluiten dat het gemeten effect toegeschreven zou kunnen worden aan molecuultrillingen, voerden zij hun onderzoek uit op amper 50 graden boven het absolute nulpunt. En inderdaad was te zien dat twee moleculen in het fotosynthetisch complex van de bacterie zich in superpositie bevonden. Het oscillerend signaal dat te zien is met spectroscopie was precies zoals te verwachten was op basis van de quantumtheorie. De onderzoekers hebben echter geconcludeerd dat bij hogere temperaturen dit effect te klein is om bij te kunnen dragen aan de efficiëntie van fotosynthese.

Al met al is er geen eenduidig antwoord te geven op de vraag. Natuurlijk heeft Schrödinger gelijk: quantumeffecten zijn aanwezig in alles, inclusief het leven; maar toch niet altijd op zo'n manier dat het een meetbaar effect heeft.

Bronnen

1. <https://physicsworld.com/a/is-photosynthesis-quantum-ish/>
2. <https://www.discovermagazine.com/technology/physicists-see-quantum-effects-in-photo-synthesis/>
3. <https://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthesis>
4. Thyryhaug, E., et al. *Identification and characterization of diverse coherences in the Fenna-Matthews-Olson complex*. Nature Chemistry (2018).
5. https://www.rug.nl/sciencelinx/nieuws/2018/05/20180521_tlcjansen?lang=en
6. Gregory S. E., et al. *Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems*. Nature (2007).
7. <https://www.scientificamerican.com/article/when-it-comes-to-photosynthesis-plants-perform-quantum-computation/>
8. Farmer, R., Renzo, M., de Mink, S. E., Marchant, P., & Justham, S. (2019). *Mind the Gap: The Location of the Lower Edge of the Pair-instability Supernova Black Hole Mass Gap*. The Astrophysical Journal (10 december 2019).