TEKST GERDIEN BOS

‘Rechtsdraaiend melkzuur, goed voor de spijsvertering!’ Je leest het weleens op verpakkingen. Wist je dat de suikers in je lichaam ook allemaal rechtsdraaiend zijn? **Dat is lastig voor wetenschappers die proberen te verklaren hoe leven is ontstaan.**

HOMOCHIRALITEIT: Raadsel in de wetenschap

Louis Pasteur ontdekte in de negentiende eeuw dat sommige moleculen in twee ruimtelijke vormen kunnen voorkomen: linksdraaiend en rechtsdraaiend. Al gauw ontdekte men dat in levende organismen veel organische moleculen slechts in één van die twee vormen aanwezig zijn. Dat verschijnsel heet ‘biologische homochiraliteit’. De vraag rees hoe deze voorkeur voor slechts één van beide vormen kan zijn ontstaan. Al tientallen jaren zijn wetenschappers op zoek naar de oplossing van dat raadsel. Maar echte antwoorden blijven uit.

SPIEGELBEELD

Organische moleculen, bijvoorbeeld in je lichaam, zijn opgebouwd uit koolstofatomen. Veel van die koolstofatomen zijn chiraal (zie kader op pagina 36 voor meer uitleg). Dat betekent dat er van veel organische moleculen twee spiegelbeeldisomeren bestaan. De verschillende vormen worden rechtsdraaiend en linksdraaiend genoemd. Vaak is dat in de naam verwerkt met de letters D (dextro = rechts) en L (laevo = links). Als zulke moleculen gemaakt worden, dan ontstaan de beide vormen in gelijke mate.

Nu zou je verwachten dat er in de levende natuur evenveel rechtsdraaiende als linksdraaiende moleculen voorkomen. Dat kost namelijk de minste energie, en moleculen hebben altijd de neiging om de vorm aan te nemen die de minste energie kost. Maar niets is minder waar! In levende organismen zijn aminozuren en suikers slechts door één spiegelbeeldisomeer vertegenwoordigd, namelijk (linksdraaiende) L-aminozuren en (rechtsdraaiende) D-suikers. Rechtsdraaiende aminozuren en linksdraaiende suikers komen dus niet voor.

Aminozuren zijn de bouwstenen van eiwitten. Eiwitten zijn daardoor ook allemaal in de linksdraaiende vorm aanwezig in organismen. Hetzelfde geldt voor DNA- en RNA-moleculen. Die zijn opgebouwd uit D-suikers en hebben dus een rechtsdraaiende D-vorm.

LEVEN

Homochiraliteit is essentieel voor het functioneren van DNA, RNA en eiwitten. Als eiwitten uit een mengsel van linksdraaiende en rechtsdraaiende aminozuren zouden bestaan, zouden ze allerlei willekeurige vormen aannemen, en hun functie niet meer kunnen vervullen.

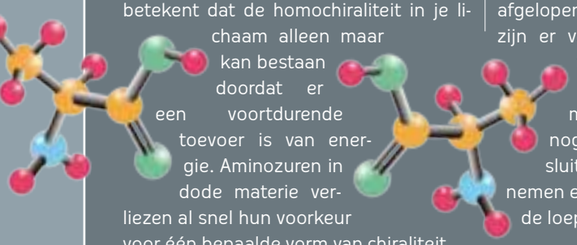
Dat zit zo: in een niet-levende – chemische

HOMOCHIRALITEIT IS ESSENTIEEL VOOR HET FUNCTIONEREN VAN DNA, RNA EN EIWITTEN ZELF



LOUIS PASTEUR

– omgeving zal een mengsel van spiegelbeeldisomeren altijd racemisch zijn. In dit mengsel zullen beide spiegelbeeldisomeren in gelijke concentraties (dus 50%) aanwezig zijn.
Een concentratieverschil kan alleen maar standhouden als er voortdurend energie aan de reactie wordt toegevoegd. Dat betekent dat de homochiraliteit in je lichaam alleen maar kan bestaan doordat er een voortdurende toevoer is van energie. Aminozuren in dode materie verliezen al snel hun voorkeur voor één bepaalde vorm van chiraliteit.



Homochiraliteit en leven horen dus bij elkaar. Onderzoekers veronderstellen dat ook hun oorsprong aan elkaar is gerelateerd.

HOMOCHIRALITEIT IS SLECHTS ÉÉN VAN DE VELE PROBLEMEN VOOR DE OPVATTING DAT LEVEN VANZELF IS ONTSTAAN

ONTSTAANSTHEORIEËN

Er zijn onderzoekers die denken dat het leven niet is ontworpen, maar spontaan is ontstaan. Dit zou zijn gebeurd door de toevallige interacties tussen organische moleculen, die op hun beurt weer via chemische (anorganische) processen zijn ontstaan. Maar homochiraliteit is een groot probleem voor zulke naturalistische theorieën over het ontstaan van leven. Levensvormen moeten immers, zoals we net beschreven, bestaan uit homochirale bouwstenen, anders kunnen ze niet functioneren. Het probleem is dat organische moleculen, die via anorganische processen ontstaan, willekeurig van het linksdraaiende of van het rechtsdraaiende type zijn. Natuurlijke anorganische processen produceren namelijk in principe nooit homochirale mengsels.
Hoe zien wetenschappers die uitgaan van naturalistische theorieën dan het ontstaan van het eerste leven? Ze nemen wel aan dat de eerste echte levensvorm uit homochirale bouwstenen bestond. Maar waar die broodnodige homochiraliteit vandaan kwam, is een groot raadsel.

DRIE THEORIEËN

Hoe is er ooit een mengsel van homochirale bouwstenen ontstaan, waaruit het eerste leven kon voortkomen? In de afgelopen decennia zijn er verschillende theorieën ontwikkeld, maar die zijn nog verre van sluitend. We nemen er drie onder de loep:

1. Chirale kristallen

In de bodem bevinden zich minerale kristallen, waaronder kwarts. Kwartskristallen komen in twee chirale vormen voor: rechtsdraaiende D-kwarts en linksdraaiende L-kwarts. Nu kunnen kwartskristallen organische moleculen aan zich hechten (adsorberen). Het blijkt dat chirale kristallen ook asymmetrische adsorptie vertonen. Dat houdt in dat een l-kwartskristal bijvoorbeeld meer voorkeur zal hebben voor het ene spiegelbeeldisomeer van een bepaald organisch molecuul, terwijl een D-kwartskristal juist eerder het andere spiegelbeeldisomeer adsorbeert. Hierdoor kunnen plaatselijk verschillen in concentraties ontstaan.

2. Statistische fluctuaties

Een racemisch mengsel is altijd een beetje uit balans. Het mengsel verkeert in een dynamisch evenwicht dat fluctueert om de evenwichtswaarde; nu eens met een afwijking naar de D-spiegelbeeldisomeer en dan weer met een afwijking naar de L-spiegelbeeldisomeer. Het aantal rechtsdraaiende D- en linksdraaiende L- moleculen is daarom meestal niet exact hetzelfde, hoewel dit verschil zo klein is dat het vaak niet kan worden vastgesteld.
Nu zijn er wetenschappers die denken dat er op enig moment een bijzonder groot concentratieverschil zou kunnen zijn ontstaan, enkel en alleen door zulke toevallige statistische fluctuaties.

3. Asymmetrische autokatalyse

In 2006 werd een bijzondere reactie ontdekt. Deze reactie heet 'asymmetrische autokatalyse'. Figuur 1 geeft het vereenvoudigd weer.

EEN BLIJVEND RAADSEL?

Het probleem met de eerste twee theorieën is dat de gevormde hoeveelheden maar heel klein zijn; ze kunnen een bron van homochiraliteit zijn, maar de concentratieverschillen die daardoor ontstaan zijn nooit groter dan 10%. Dat is echter een te klein verschil om een bron te kunnen zijn geweest voor de homochiraliteit van het eerste leven. Bovendien blijft zo'n verschil niet lang bewaard. Binnen de kortste keren vervalt het weer naar de evenwichtstoestand waarbij er evenveel links- als rechtsdraaiende moleculen zijn.

De ontdekking van de asymmetrische autokatalyse (de derde theorie) lijkt meer belovend. Deze reactie heeft maar een klein overschotje nodig om daarna concentratieverschillen van meer dan 99% te kunnen creëren. Daarmee wordt een mengsel dus bijna homochiraal en zou het een bron kunnen zijn voor het ontstaan van homochiraal leven.
Toch is het niet zo waarschijnlijk dat dit echt de oplossing is.

De autokatalytische reactie die in 2006 werd ontdekt was erg specifiek. En naast deze ene reactie zijn er nog geen andere voorbeelden van asymmetrische autokatalyse gevonden. Bovendien levert dit geen mengsel op van nuttige bouwstenen voor het leven, omdat de bouwstenen allemaal hetzelfde zijn. Met maar één soort bouwsteen kun je geen functionele organische moleculen bouwen, net als dat je geen zinnen kunt schrijven met maar één karakter.

Het raadsel hoe op naturalistische wijze biologische homochiraliteit is ontstaan, blijft dus nog steeds onopgelost. Het is slechts één van de vele problemen voor de opvatting dat het leven vanzelf is ontstaan. Voor wie die visie wil aanhangen, is er nog veel werk aan de winkel.

MOEILIJKE TERMEN VEREENVOUDIGD

CHIRAAL KOOLSTOFATOOM = koolstofatoom met vier verschillende groepen.
CHIRAAL MOLECUUL = een molecuul dat een chiraal koolstofatoom bevat en dus voorkomt in twee verschillende ruimtelijke vormen.
HOMOCHIRALITEIT = aanwezigheid van slechts één van beide mogelijke spiegelbeeldisomeren.
SPIEGELBEELDISOMEREN = twee verschillende ruimtelijke vormen van hetzelfde molecuul die elkaars spiegelbeeld zijn.
KATALYSATOR = een stof die een chemische reactie versnelt, maar die zelf niet wordt verbruikt.

ASYMMETRISCHE AUTOKATALYSE

Stoffen A en B zijn de uitgangsstoffen. Onder invloed van katalysator P vormen zij het product P. Omdat het product gelijk is aan de katalysator, kan het product nu zelf als katalysator een rol gaan spelen in de reactie. Zo werkt het mee aan zijn eigen vorming. Als P toevallig een rechtsdraaiend molecuul is, zal dat resulteren in een mengsel dat praktisch uitsluitend uit rechtsdraaiende moleculen (namelijk P) bestaat.

FIGUUR 1



WAT IS CHIRALITEIT?

FIGUUR 2



Twee spiegelbeeldisomeren, die slechts verschillen in hun ruimtelijke oriëntatie. Links de linkervorm en rechts de rechtervorm van hetzelfde molecuul. Het middelste C-atoom is chiraal.

Aan een koolstofatoom kunnen vier verschillende andersoortige atomen of groepen gebonden zijn. Wanneer deze groepen alle vier verschillend zijn, kan het totale molecuul twee verschillende ruimtelijke vormen aannemen (zie figuur 2). Die twee vormen zijn elkaars spiegelbeeld, net zoals een linkerhand en een rechterhand. Ze heten dan ook 'spiegelbeeldisomeren'. Dit soort koolstofatomen wordt 'chiraal' genoemd. Spiegelbeeldisomeren hebben identieke chemische en fysische eigenschappen.

RACEMISCH MENGSEL

Moleculen hebben altijd de neiging om de vorm aan te nemen die de minste energie kost. In een mengsel van chirale moleculen zal dat resulteren in gelijke hoeveelheden van beide spiegelbeeldisomeren, omdat die situatie het meest voordelig is. Zo'n mengsel wordt een 'racemisch mengsel' genoemd.
Een racemisch mengsel is in evenwicht: beide spiegelbeeldisomeren gaan voortdurend in elkaar over, maar de concentraties blijven toch gelijk.