Earth-documentaire

Dit is het verhaal van de lucht om ons heen, verteld door verschillende wetenschappers en voorzien van prachtige beelden.

In het Hadeïcum[1] (4,5 miljard jaar geleden, genoemd naar de Griekse god Hadeis van de onderwereld) was de pasgevormde aarde onherbergzaam. Er was nog geen atmosfeer, aan het oppervlak was er nog een traag afkoelende lavalaag, en er waren voortdurend inslagen van meteorieten en asteroïden. De aarde was ook niet beschermd tegen de straling van de zon.

Hoe is onze atmosfeer –amper een laag van 100 km t.o.v. de diameter van de aarde van 13.000 km- bestaande uit O2-N2-CO2-ozon ontstaan? Deze atmosfeer beschermt tegen de UV-straling en schermt ons af van de koude ruimte.

Bij het ontstaan van de aarde kwam er magma uit de aardkern en kwamen er gassen vrij: CO2, N2, CH4. Hoe weet men dit? In Ijslandse lavagrotten, die nog sterk lijken op deze van 4,5 miljard jaar geleden zijn er gesteenten ontdekt met 'bubbles'. Verder onderzoek van deze oude gasbellen heeft de concentraties van gas bevestigd.

Net voor het ontstaan van de aarde was er een atmosfeer uit H2, CO2, SO2, N2 en CH4. Dit heeft men kunnen afleiden uit analyses van zogenaamde chondrieten, ruimtestenen die bestaan uit het stof en puin waarmee de aarde zou opgebouwd worden.

De aarde was dus van bij het begin omhuld door een oranje nevel, gevormd door afbraak van het CH4 o.i.v. zonlicht. Er was verder ook CO2 en nog geen zuurstof (O2), een giftige combinatie dus.

Via de vulkanen was er samen met de andere gassen ook H2O vrijgekomen. Er was echter nog nooit een druppel water op de aarde zelf gevallen, daar regendruppels direct terug verdampen. De auteurs spreken van een 'oceaan in de hemel'.

Na een tijdje ging de aardhitte de ruimte in en koelde ze af. Kleine regendruppels van ca 1 mm doormeter en die tot dan toe in de luchtlaag zweefden, groeiden tot grotere druppels en de zwaartekracht deed de rest. Er kwam zo een stortvloed van water. Er zouden ook wolken ontstaan, en de erosie van de bodem kon beginnen.

4 miljard jaar geleden gaat in het water leven ontstaan.[2] Er hangt nog altijd een mysterie over hoe en waar dit juist gebeurd is. Waar men wel van uitgaat is dat dit is begonnen met de vorming van complexe moleculen.

Er zijn verschillende theorieën. Het leven kan ontstaan zijn in een poel met afwisselend natte en droge condities waarbij er steeds complexere moleculen ontstonden, en zo ook het eerste DNA. Anderen houden het bij een hydrothermale bron met een H2S-milieu of zelfs bij een inslag van meteorieten (buitenaardse invloed).

De eerste levensvormen bestonden vermoedelijk uit een 'bol' vetweefsel met een beetje DNA. Van belang was de aanwezigheid van water en de nodige energie om te groeien. Deze eerste levensvormen produceerden extra CH4 in de atmosfeer bij eten, ademen en leven (CO2+H2=H20+CH4). De oranje nevel werd dikker.

---

[1] Het Hadeïcum is de oudste geologische periode op aarde (4,6-4 miljard jaar geleden) en is deel van het Precambrium (met nog het Archeïcum van 4 tot 2,5 miljard jaar geleden, en het Proterozïcum (2,5 tot 0,54 miljard jaar geleden).

[2] We halen hier kort aan wat er verder gebeurt. Zie verder: Het ontstaan van leven op onze aarde.

Rond 3,8 miljard jaar geleden was er nog een atmosfeer zonder zuurstof en zonder beschermend ozon. De oceanen waren veranderd in een zure omgeving door absorptie van CO_2. Ze bevatten ook veel opgelost ijzer.

In dergelijke extreme milieus konden extremofiele bacteriën ontstaan. Tegenwoordig zijn er nog afstammelingen hiervan gevonden in geisers in het Andesgebergte met kokend heet water in. Extremofielen kunnen ook in extreme vrieskoude, in een zuur milieu of in de duistere diepzee ontstaan. Deze bacteriën hadden een beperkte habitat en konden zich nog moeilijk verspreiden over een grotere oppervlakte.

Rond 3 miljard jaar geleden beginnen cyanobacteriën zonlicht op te vangen en starten ze met fotosynthese om aan hun eigen nieuwe energievoorziening te beginnen. Deze organismen zullen uitgroeien tot een succesvolle soort, met nu nog meer dan 2000 soorten. Het leven groeit tien keer sneller. Er beginnen ook celdelingen en zo een vermenigvuldiging van cellen. Bacteriën worden ook de voedingsbodem voor een nieuwe soort, namelijk algen die de bacteriën inslikken.

De oceanen worden meer en meer zuurstofrijker door de fotosynthese. Toch ontsnappen de stijgende zuurstofbelletjes niet naar de nog altijd oranje nevelatmosfeer. Dit moet verklaard worden door de typische eigenschap van zuurstof om heel reactief te zijn. Zo bindt het met het opgeloste ijzer en de neerdwarrelende roestdeeltjes (ijzeroxide) vallen neer op de oceaanbodem en vormen vaste gesteenten (2,5 miljard jaar geleden). De zeeën beginnen zo rood te kleuren. Hierdoor zakt het ijzergehalte in de oceanen. Nu kon geleidelijk aan de zuurstof wel worden opgevangen in de atmosfeer die hierdoor geleidelijk aan zal veranderen.

De toenemende concentratie aan zuurstof zorgt ook voor destructieve krachten. Er ontstaat een reactie met gesteenten die beginnen afbrokkelen en overal stofstormen veroorzaken. Zure regen (H_2SO_4) doet gesteenten oplossen en minerale voedingsstoffen stromen naar de oceanen. Dit is een voorbeeld van co-evolutie: door de evolutie van het leven, evolueert ook de aarde waardoor er opnieuw een andere habitat verschijnt.

Er is nog een impact van het stijgend gehalte aan zuurstof: er wordt namelijk ozon (O_3) gevormd dat beschermt tegen de schadelijke UV-straling. En door de reactie $CH_4+O_2=CO_2+H_2O$ zal de oranje nevel veranderen in een blauwe lucht (2,3 miljard jaar geleden).

Tussen 1100 en 750 miljoen jaar geleden bestond het supercontinent Rodania. De grote afkoeling van het klimaat (rond 700 miljoen jaar geleden (sneeuwbalaarde) wordt vaak in verband gebracht met het opbreken van Rodania. Er zijn mogelijk nog oudere supercontinenten geweest. Pangaea heeft bestaan rond 300 miljoen jaar geleden.

Het ontstaan van zuurstof uit fotosynthese heeft gezorgd voor een explosie van het leven en voor een grondige verandering van onze habitat. We ademen zuurstof in om onze voedingsstoffen te verbranden tot energie. Deze voedingsstoffen zijn direct (planten) of indirect (vlees van dieren) ontstaan uit fotosynthese. De zuurstof heeft jammer genoeg ook nu een rol in de toename aan CO_2 als gevolg van de te grote verbranding van fossiele brandstoffen door de mens. Gevolg hiervan is de klimaatopwarming. Welk toekomstig leven zal er nog zijn door deze vorm van co-evolutie?

Bron: Earth-documentaire, Aflevering 4 (Atmosphere), 18.2.2024, CANVAS

Het ontstaan van stollingsgesteenten

Stollingsgesteenten ontstaan door stolling van magma (onder het aardoppervlak) of van lava (aan het aardoppervlak). Bij de stolling ontstaan stabiele geometrische kristalstructuren.
Magma's bestaan meestal uit vloeibaar SiO_2 bij temperaturen tussen 650 en 1200 °C. Er zitten in de smelt –die als oplosmiddel fungeert- ook opgeloste ionen van Na, K, Mg, Ca en Fe. Als magma tot aan het oppervlak omhoog komt, spreekt men van lava.
Lava kan vrijkomen bij scheuren in het aardoppervlak, bv. door de platentektoniek of bij inval van asteroïden. Bij vulkaanuitbarstingen wordt magma van 100 km diep omhoog geduwd.
De aardkorst is de buitenste afgekoelde laag van de aarde. Een typisch gesteente is basalt (lage dichtheid). Onder de aardkorst zit de aardmantel, die begint op een diepte van enkele tientallen km en zelf 2900 km dik is. De mantel is door de hoge druk binnenin de aarde plastisch. Ze bestaat hoofdzakelijk uit ijzer- en magnesiumrijke silicaten en oxiden. Stromingen in de mantel veroorzaken de platentektoniek.
De aardkern bestaat uit een vaste binnenkern (met doormeter ca 2500 km) en een vloeibare buitenkern met een dikte van 2200 km. Ondanks de hoge temperaturen (5000 K) in de binnenkern is deze door de hoge druk toch vast. De vloeibare buitenkern bepaalt het magnetisch veld van de aarde en bestaat uit vloeibaar Fe en Ni (op 2900 °C). Ook de vaste binnenkern bestaat uit Fe en Ni. De aarddiameter bedraagt ongeveer 12.700 km (=ca 2500+2 keer 2200+2 keer 2900).
Magma kan dus ontstaan in de aardkorst door een combinatie van factoren zoals temperatuur, druk en samenstelling. Dit bepaalt het smelttraject. Bij de stolling worden gassen zoals H_2O en CO_2 ingesloten in de kristalstructuur.
Graniet is een dieptegesteente dat gestold is uit magma onder het aardoppervlak. Basalt is een uitvloeiingsgesteente dat zich meer aan het aardoppervlak zelf vormt. Basalt bestaat door de snelle afkoeling uit kleine kristallen terwijl in graniet grotere kristallen zijn gegroeid (tragere afkoeling).
De meest voorkomende gesteentevormende mineralen in basalt zijn silicaten die opgebouwd zijn uit silicatetraëders of silicaten (=Si omgeven door vier O-atomen, het Si-atoom bevindt zich binnenin de O-tetraëder), limoniet ($FeTi\ O_3$) en olivijn ($(MgFe)_2SiO_4$). Graniet bestaat voor de helft uit kwarts[3] (SiO_2), Al-silicaten (veldspaat, met lamellaire structuur).
Zand is ontstaan uit een mechanische en chemische afbraak van gesteenten. Dit kan bv. gebeuren door erosie.
Mineralen zijn in de natuur voorkomende stoffen (bv. een metaal, keukenzout, FeS_2, silicaten,…) die homogeen zijn van structuur en samenstelling. Ze hebben een vaststaande interne structuur in de vorm van een kristalrooster. Ook sommige organische verbindingen worden als mineralen bestempeld. Gesteenten verschillen lokaal van samenstelling en kunnen bestaan uit verschillende mineralen.
Er bestaan ook kleimineralen, een gesteentevormend mineraal in de grondsoort klei. Het zijn silicaten die ook hydroxylgroepen hebben. De gesteentevorm van klei is schalie.
Gesteenten kunnen afgebroken worden door erosie (met materiaal dat verplaatst) of verwering (oplossen in water, inslag van meteoriet, plantenwortels die gesteenten uit elkaar duwen, inwerking van bacteriën).
Silicaten vormen ongeveer 95% van de aardkorst. Ze bevatten het tetraëdrisch SiO_4-ion. Dit is een Si-atoom omgeven door 4 zuurstof-atomen (met een negatieve -4 lading).[4] Zowel silicaten, zand, glas, klei hebben alle deze tetraëder.

[3] Kwarts ontstaat door het stollen van een gesmolten silicaatmassa.
[4] Si heeft 4 buitenste elektronen, O heeft er 6. Bij bv. SiO_2 wordt er een stabiele 8-electronenstructuur tussen Si en O. Bij SiO_4 moeten er 4 extra elektronen (vandaar negatieve lading) toegevoegd worden om tot deze stabiele elektronenstructuur te komen. Men spreekt hier van een ion. Door de negatieve lading ontstaan er ionbindingen met andere elementen, bv. Fe.

Deze tetraëders kunnen bv. ook in een dubbelvorm groeien, Si_2O_7 (met een negatieve -6 lading).[5] Bij cyclosilicaten vormen enkele tetraëders een ringvorm. Bij kwarts spreekt men van tectosilicaten die een 3D-netwerk van tetraëders hebben. Bij fyllosilicaten of bladsilicaten zijn de tetraëders in een lamellaire structuur gerangschikt met een zwakke zuurstofbinding tussen de twee lamelle (bv. kleimineralen).

In de silicaatrijke aardkorst zijn dus verschillende soorten gesteenten ontstaan. Door verwering zijn deze in zeeën en rivieren terechtgekomen. Door sedimentatie zijn ze dan op de zeebodem beland (oligoceen, myoceen). Het is alsof silicaat-tetraëders samenklonken tot zand en bezinken, en hier en daar nog wat ijzersilicaat vasthouden (ijzerhoudend zand).
Kleimineralen zijn licht, en binden sterk andere mineralen en water. Men spreekt van mariene sedimentatie (in de zee), fluviatiele sedimentatie (in rivieren), eolische sedimentatie (door de wind). De bezinkingssnelheid is afhankelijk van de stroomsnelheden van het water. Bij hoge snelheid worden de deeltjes meegesleurd, bij een lagere snelheid (bv. riviermonding) is er meer afzetting (bv. verzanding van Westerschelde).

Bron: Wikipedia, 29.2.2024

Toen er complexe silicaten gevormd werden in de aardkorst, begonnen er ook complexe organische verbindingen te vormen in water: de eerste DNA-ketens waarbij er nog geen fotosynthese bestond. De DNA-keten kan beschouwd worden als een organisch kristal, de complexiteit ervan is vermoedelijk een gevolg van de extreme habitats waarin dit eerste leven leefde, ook van sterke wisselingen in deze habitats. Net zoals kristallen zichzelf kopiëren en groeien gebeurt dit ook bij de DNA-ketens. Bij het vele kopiëren is de basis gelegd van genetische fouten en van de genetica die later zal leiden tot het groeien van organen, spieren, weefsels, botten,…

Als men ziet hoe uit H_2O en CO_2 bij invallend zonlicht glucose kan ontstaan, ook een complexe koolwaterstofbinding, dan kan een gelijkaardig mechanisme voorafgaand aan de fotosynthese ook geleid hebben tot de vorming van desoxyribose als bouwsteen van het DNA.

Bij het leven staat verbranding van suikers centraal om energie te winnen voor te groeien. Ook bij kristallen in gesteenten is er dus een energieopname die bv komt van het vormen van ionen of van de omgevingswarmte.

Veranderingen in ons DNA zullen ook leiden tot het ontstaan van mannelijke en vrouwelijke levensvormen, en van het opeten van soortgenoten.

In DNA zitten ook complexe N-verbindingen. Het is treffend dat CO_2- en N-verbindingen aan de basis staan van het ontstaan van DNA, ook van suikers (via fotosynthese) en eiwitten voor ons voedsel, maar ook van de huidige klimaat-en milieuproblemen.

Marc Van Stappen, 2024, www.stap-brug.be

[5] Dit zijn dus twee tetraëders waarbij één gemeenschappelijk hoekpunt bestaat. In elke tetraëder bevindt Si zich centraal binnen (dus 2 Si-atomen). Er zijn 7 zuurstof-atomen (één is gemeenschappelijk). Om aan de stabiele 8-elektronenstructuur te komen is er dus een extra elektron nodig voor 6 zuurstofatomen, het gemeenschappelijke zuurstofatoom heeft geen extra elektronen nodig (vandaar lading -6)