

Focus op Natuurwetenschappen

1 – Hoe bouw je een heelal

Kosmische achtergrondstraling

(Cosmic Microwave Background radiation – CMB)

Centraal in dit hoofdstuk staan de eigenschappen van het heelal. De kosmische achtergrondstraling geeft daarover nadere aanwijzingen. In het hoofdstuk wordt daarom speciale aandacht besteed aan de ontdekking van deze straling door Penzias & Wilson. Kosmische achtergrondstraling kan worden opgevat als een restant van de energie die vrijkwam bij de 'Big Bang'. De temperatuur van de straling is nu 2,73°K (bedenk daarbij dat 0°C = 273°K en het absolute nulpunt 0°K = -273°C), dus erg laag. Die stralingstemperatuur hangt af van de grootte van het heelal.

Nadere informatie is te vinden op de websites van de NASA:

http://map.gsfc.nasa.gov/m_uni.html

en van het IEEE Virtual Museum:

<http://www.ieee-virtual-museum.org/index.php> ('cosmic background radiation' via search)

Opgave 1.1

Ga na hoe hoog de temperatuur van de kosmische achtergrondstraling was toen het heelal nog twee keer zo klein was als nu en toen het tien keer zo klein was.

Opgave 1.2

Ga na hoe sterk de temperatuur van de kosmische achtergrondstraling (Cosmic Microwave Background radiation – CMB) varieert.

2 – Welkom in het zonnestelsel

Pluto, de 'Kuipergordel' en planeten

In dit hoofdstuk gaat de aandacht vooral uit naar de buitenkant van het zonnestelsel: het hemellichaam Pluto, dat sinds kort geen planeet meer genoemd mag worden, en de wolk van planetoïden en meteoroiden daarbuiten. Veel meer informatie over het zonnestelsel is te vinden op diverse websites, bijvoorbeeld:

<http://solarsystem.nasa.gov/> en

<http://www.nineplanets.org/>

Opgave 2.1

Zoek uit hoe groot een astronomische eenheid of A.E. (Astronomical Unit of A.U.) is.

Opgave 2.2

Zoek uit hoeveel A.E. Pluto verwijderd is van de zon.

Opgave 2.3

Beredeneer waarom Pluto (sinds augustus 2006) niet meer als een gewone planeet wordt beschouwd.

Opgave 2.4

Is er 'uitwisseling' van objecten mogelijk tussen de 'Kuipergordel' en de 'wolk van Oort', en zo ja, waardoor?

3 – Het heelal van eerwaarde heer Evans

Supernovae

Supernovae zijn sterren die gedurende enkele weken veel licht uitstralen als gevolg van een enorme explosie. Het hoofdstuk gaat vooral over de onderzoekers die zich met deze verschijnselen bezig houden. Nadere informatie over de supernovae zelf vind je in Wikipedia:

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Supernova>

op de site van de NASA:

http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know_12/supernovae.html

en (wat minder toegankelijk voor de niet-specialist) op de site van het Supernova Cosmology Project (Berkeley lab):

<http://www-supernova.lbl.gov/>

Een filmpje van een supernova-explosie vind je op:

<http://www-supernova.lbl.gov/public/figures/snvideo.html>

Opgave 3.1

De twee belangrijkste typen van supernovae zijn ontstaan uit ‘witte dwergen’ of ‘zware sterren’. Wat zijn de belangrijkste verschillen in het stralingspatroon, i.e. in hoeverre verschilt de spectrale samenstelling van de uitgezonden elektromagnetische straling?

Opgave 3.2

Hoe ontstaan type Ia supernovae?

Opgave 3.3

Wat maakt het bestuderen van ‘witte dwergen’, en het ontstaan van supernovae daaruit, zo waardevol voor het onderzoek van de ruimte?

Opgave 3.4

Hoe ontstaan supernovae bij ‘zware sterren’?

Opgave 3.5

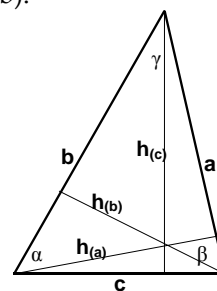
Hoe komt het dat ‘zware sterren’ pas imploderen als de massa 8 maal die van de zon is, terwijl dat bij ‘witte dwergen’ al gebeurt bij een massa die 1,4 maal die van de zon is?

4 – De maat der dingen

Het meten van afstanden in het zonnestelsel en de grootte en de massa van de aarde vergt heel wat vindingrijkheid. In dit hoofdstuk van het boek van Bryson wordt daar nader op ingegaan. Hieronder worden de achtergronden van een tweetal technieken (driehoeksmeting en de bepaling van de gravitatieconstante) nader uitgewerkt.

Driehoeksmeting

Als de afstand c en de hoeken α en β bekend zijn, dan is hoek γ te berekenen, want in een driehoek is $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$. Verder geldt dat de sinus van een hoek, bijvoorbeeld hoek α , kan worden berekend in een rechthoekige driehoek. Deze sinus is gelijk aan de overstaande rechthoekszijde (in dit geval dus de hoogtelijn $h_{(c)}$) gedeeld door de schuine zijde (in dit geval b).



$\sin \alpha = h_{(c)}/b$, maar ook $\sin \alpha = h_{(b)}/c$, dus $h_{(c)}/b = h_{(b)}/c$
uit deze vergelijkingen volgt:

$$h_{(c)} = (h_{(b)} \times b)/c$$

$$\text{en: } h_{(b)} = (h_{(c)} \times c)/b$$

$$\sin \beta = h_{(c)}/a = (h_{(b)} \times b)/(c \times a) = \sin \alpha \times b/a$$

$$\text{dus: } \sin \beta/b = \sin \alpha/a$$

$$\sin \gamma = h_{(b)}/a = (h_{(c)} \times c)/(b \times a) = \sin \alpha \times c/a$$

$$\text{dus: } \sin \gamma/c = \sin \alpha/a$$

uit de bovenstaande vergelijkingen volgt de sinusregel:

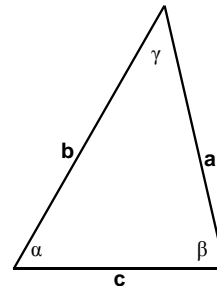
$$a/\sin \alpha = b/\sin \beta = c/\sin \gamma$$

Als zijde c bekend is en de hoeken α en β kunnen de zijden a en b dus ook worden berekend.

Landmeters kunnen de afstand c gewoon meten en de hoeken α en β bepalen. Als het (zoals bij het berekenen van de afstand tot de maan) gaat om twee punten die ver van elkaar liggen op aarde, moet natuurlijk rekening worden gehouden met de kromming van de aarde bij de berekening van zowel de afstand c als de hoeken α en β .

Opgave 4.1

Bepaal de afstand b in de onderstaande figuur als gegeven is: $\alpha=60^\circ$, $\beta=75^\circ$ en $c=20$ m



Opgave 4.2

De hoek tussen horizon en maan wordt op twee plaatsen in Afrika op de evenaar gemeten op hetzelfde moment, waarop de maan ook loodrecht boven de evenaar staat. In Gabon op 10° OL wordt een hoek van $86,42^\circ$ met de horizon gemeten, in Kenya op 35° OL wordt een hoek van $68,17^\circ$ met de horizon gemeten. Wat is de afstand tussen het meetpunt in Gabon en de maan? De straal van de aarde is 6370 km.

Gravitatie

Volgens de eerste wet van Newton krijgt een voorwerp een versnelling (a) in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ wanneer er een kracht (F) op dat voorwerp wordt uitgeoefend. Dus, een treinwagon die op horizontale rails staat, gaat steeds sneller rijden als er met een constante kracht aan getrokken wordt in één van de mogelijke rijrichtingen, mits er geen wrijving bij de wielen is en geen luchtweerstand. In de tweede wet van Newton wordt het verband aangegeven tussen deze kracht (F) in N (Newton) en de massa (m) in kg en de versnelling (a) van het voorwerp:

$$F = m \times a$$

Op elk voorwerp op aarde heeft de zwaartekracht invloed. De versnelling van de zwaartekracht is experimenteel bepaald door een voorwerp te laten vallen in een ruimte die vacuüm is gemaakt. Er is dan geen wrijving die het voorwerp zou kunnen remmen. De *versnelling van de zwaartekracht*, die ook wel g wordt genoemd, bedraagt $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. De kracht (F) die de zwaartekracht op aarde op een voorwerp uitoefent is dus $9,81 \times m$ (massa in kg) uitgedrukt in Newton.

Versnelling van de zwaartekracht

Newton postuleerde verder dat twee voorwerpen elkaar aantrekken met een kracht die evenredig is met de massa's van beide voorwerpen en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen de zwaartepunten. Deze massawet luidt: $F = G \times m_1 \times m_2 / r^2$. Daarin is F de kracht in N (Newton), G de *gravitatieconstante* die kon worden vastgesteld op $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$, m de massa's (in kg) van de twee lichamen die elkaar aantrekken, en r de afstand tussen de zwaartepunten van beide lichamen (in m).

Gravitatieconstante

Toen deze massawet geformuleerd werd, waren de waarden van G en van de massa van de aarde nog onbekend. De waarde van G werd door Cavendish bepaald aan de hand van de aantrekking tussen voorwerpen. Zijn proefopstelling wordt nader beschreven op de volgende websites: <http://www.fourmilab.ch/gravitation/foobar/>

<http://www.julianrubin.com/bigten/cavendishg.html>

Opgave 4.3

Een bol van 1 kg wordt opgehangen naast een bol van 100 kg, waarbij de afstand tussen de zwaartepunten op 0,5 m wordt gehouden. Vergelijk de krachten die de aarde en de bol van 100 kg uitoefenen op de bol van 1 kg. De straal van de aarde is 6370 km en de massa van de aarde $5,98 \times 10^{24}$ kg.

5 – De steenbrekers

Geologische tijd en geologische processen

In de achttiende en negentiende eeuw werd de geologie erg populair. Men kreeg enig inzicht in de relatieve ouderdom van afzettingen, kon ook aan de hand van fossielen vaststellen dat afzettingen op verschillende plaatsen ongeveer even oud moesten zijn, maar de absolute ouderdom werd aanvankelijk nogal vaak fors onderschat. Nadere informatie over hoe het werkelijk zit vind je in de hoofdstukken 9 (o.a. figuur 9.1) en 10 in het basiskennisboek van de cursus Aarde, Mens en Milieu.

Opgave 5.1

Probeer na te gaan waarom juist de Britten zo intensief bezig waren met de oudere geologische perioden (Devoon en ouder) terwijl er in centraal Europa veel meer belangstelling was voor de jongere geologische perioden.

Opgave 5.2

De geologen van het eerste uur zoals Hutton, Buckland en Lyell, veronderstelden dat het reliëf op aarde, afgezien van enige erosie, gelijk was gebleven gedurende de geschiedenis. Mariene fossielen in het gebergte zouden wijzen op veranderingen in het zeespiegelniveau. Bedenk enkele argumenten die men toen had kunnen gebruiken tegen deze opvatting.

Opgave 5.3

Hoe liggen de lagen van vóór en na de plooiing die in en bij een gebergte aan de oppervlakte komen?

6 – Een wetenschappelijke strijd met klauw en tand

Dinosauriërs

Fossiele botten werden aanvankelijk toegeschreven aan nog levende diersoorten. Langzamerhand werd echter duidelijk dat sommige botten absoluut niet in dat patroon pasten, en dat sommige soorten dus waren verdwenen. De gebeenten van uitgestorven soorten met een uitzonderlijk groot formaat spraken daarbij het meest tot de verbeelding. Veel van dergelijke soorten kwamen uit de groep van de dinosauriërs. Op de website van het Natural History Museum in Londen is heel veel over dinosauriërs te vinden:

<http://internt.nhm.ac.uk/jdsml/nature-online/dino-directory/>

Over de taxonomie zijn nadere details te vinden op:

<http://www.ucmp.berkeley.edu/help/taxaform.html>

Opgave 6.1

Zoek nadere details omtrent taxonomie, grootte, dieet, periode en geografisch gebied waarin de soort leefde, voor *Iguanodon* en *Megalosaurus*.

Opgave 6.2

Probeer het belangrijkste onderscheid te achterhalen tussen de twee hoofdgroepen van de dinosauriërs.

Opgave 6.3

Probeer na te gaan welke taxonomische plaats de *Ichthyosaurus* en de *Plesiosaurus* bezetten.

7 – Elementaire materie

Dit hoofdstuk beschrijft de eerste ontwikkelingen van de scheikunde, die aanvankelijk plaatsvonden op het grensvlak van de alchemie. Het ging daarbij achtereenvolgens om het besef dat materie uit verschillende elementen bestaat, over de ontdekking van die elementen en vervolgens van moleculen en atomen, over de gelijkenissen tussen de elementen en dan weer van radioactief verval van elementen. Avogadro slaagde erin om atomen en moleculen afmetingen te geven. Hieronder vind je enkele achtergronden.

Gassen en het getal van Avogadro

Mol
Molecuulmassa
Atoommassa

zie ook Voorkennis
scheikunde bij de
cursus Aarde, Mens
en Milieu

Het getal van Avogadro geeft het aantal deeltjes (moleculen, atomen of ionen) per mol, of wel $6,02 \times 10^{23}$ deeltjes. Een *mol* is een hoeveelheid van een stof met een massa in grammen waarvan de getalswaarde gelijk is aan de molecuulmassa. De *molecuulmassa* is de som van de *atoommassa's*. Een mol water (H_2O) heeft bijvoorbeeld een massa van $2 \times 1 + 16 = 18$ g. Avogadro kwam tot deze inzichten aan de hand van de relaties tussen druk, volume en absolute temperatuur bij gasvormige stoffen.

Boyle ontdekte dat er een verband bestaat tussen de druk (p) en het volume (V) van een afgesloten hoeveelheid gas bij een gelijkblijvende temperatuur:

Wet van Boyle

$$pV = \text{constant (wet van Boyle)}$$

Dus als het volume halveert, wordt de druk twee maal zo groot.

Gay-Lussac vond dat er ook een verband bestaat tussen de druk (p) en de absolute temperatuur (T) van een hoeveelheid gas bij een gelijkblijvend volume. De absolute temperatuur in $^{\circ}\text{K}$ = de temperatuur in $^{\circ}\text{C} + 273$.

Eerste wet van Gay-Lussac

$$p/T = \text{constant (eerste wet van Gay-Lussac)}$$

Hij vond verder dat er een verband bestaat tussen het volume (V) en de absolute temperatuur (T) van een hoeveelheid gas bij een gelijkblijvende druk:

Tweede wet van Gay-Lussac

$$V/T = \text{constant (tweede wet van Gay-Lussac)}$$

Deze drie wetten kunnen worden gecombineerd tot:

Wet van Boyle-Gay-Lussac

$$pV/T = \text{constant (wet van Boyle-Gay-Lussac)}$$

Avogadro ontdekte dat dezelfde volumes van verschillende gassen van dezelfde temperatuur en druk evenveel moleculen bevatten. Voor elke mol gas is de constante hetzelfde. Dus:

Wet van Avogadro

$$pV/T = R \text{ (wet van Avogadro)}$$

Deze R , of universele gasconstante bedraagt: $8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.
Daarbij wordt p gemeten in kPa ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nm}^{-2}$ en $1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$), V in liters en T in $^{\circ}\text{K}$

Meer in het algemeen geldt:

$$pV = nRT$$

waarin n staat voor het aantal mol.

Opgave 7.1

Bereken het volume van een mol gas bij 0°C en 1 atmosfeer en waarom maakt het daarbij niet uit om welk gas het gaat?

Opgave 7.2

In een cilinder met een luchtdichte zuiger bevindt zich 1 liter stikstof. De druk is 1 atmosfeer. Nu wordt de ruimte verkleind tot 0,6 liter door de zuiger te verplaatsen. Hoe hoog is nu de druk?

Opgave 7.3

In een afgesloten ruimte van 1 liter zit stikstof. De druk is 1 atmosfeer en de temperatuur 20°C . De temperatuur wordt verhoogd tot 60°C . Bereken de druk die daarbij ontstaat.

Opgave 7.4

Flessengas bestaat in belangrijke mate uit propaan (C_3H_8) en butaan (C_4H_{10}). Beredeneer waarom dit gevaarlijk kan zijn op een plezierjacht met slapende mensen. Beredeneer ook waarom koolstofdioxide (CO_2) dat 's nachts door de vegetatie wordt geproduceerd door respiratie (ademhaling) overdag nog beschikbaar is voor de fotosynthese. Met behulp van het periodiek systeem (zie bijvoorbeeld figuur 1.1 in de voorkennis scheikunde bij de cursus Aarde, Mens en Milieu, of BINAS) kan de molecuulmassa worden bepaald.

8 – Einsteins universum

Thermodynamica, energie en massa

*Eerste hoofdwet
thermodynamica*

Albert Einstein ontwikkelde zijn ideeën over ondermeer relativiteit nadat hij zich grondig had verdiept in de thermodynamica. De belangrijkste principes hiervan zijn in een drietal wetten vastgelegd. De **eerste hoofdwet van de thermodynamica** houdt in dat de hoeveelheid energie in een gesloten systeem altijd constant blijft: er gaat geen energie verloren en er komt ook geen energie uit niets tevoorschijn.

Opgave 8.1

Al het water uit een bergmeer loopt via een waterval en een turbine naar een bergbeek. Elke liter water in het meer bezit potentiële energie vanwege het hoogteverschil met de bergbeek, elke liter water in de waterval bezit kinetische energie en elke liter water die de turbine passeert wekt elektrische energie op. De potentiële energie van een liter water in het meer kan nauwkeurig worden berekend, de kinetische en de opgewekte elektrische energie kunnen worden gemeten. Ze blijken niet gelijk aan elkaar te zijn. De potentiële energie is het hoogste, de kinetische energie een stuk lager en de elektrische energie nog lager. Er lijkt dus energie verloren te gaan. Hoe kan dit in overeenstemming gebracht worden met de eerste hoofdwet van de thermodynamica?

*Tweede hoofdwet
thermodynamica*

Entropie

De **tweede hoofdwet** geeft aan dat bij ieder fysisch of chemisch proces de **totale entropie**, dus de entropie van het systeem plus die van de omgeving, toeneemt of ten minste gelijk blijft. Entropie is een maat voor de wanorde: de mate waarin deeltjes volgens toeval verdeeld zijn en de snelheid van die deeltjes. Entropie is laag in een sterk gestructureerd systeem, denk bijvoorbeeld aan diverse lagen van verschillende stoffen, en hoog in een systeem waarvan alle onderdelen volledig gemengd zijn. Entropie is ook laag bij lage temperaturen (weinig beweging van deeltjes) en wordt hoger naarmate de temperatuur toeneemt.

Opgave 8.2

De beweging van moleculen in een stof neemt toe van de fasen vast, vloeistof naar gasvormig. Ook de entropie neemt daarbij toe – hoe meer beweging, hoe hoger de entropie. Bij condenseren van een gas of stollen van een vloeistof gebeurt het omgekeerde. Hoe leg je het bevroren van een bak water in een ijskoude ruimte uit in samenhang met de tweede hoofdwet?

*Derde hoofdwet
thermodynamica*

In de **derde hoofdwet** wordt een relatie gelegd met temperatuur: bij het absolute nulpunt (-273°C) is de entropie van elke stof gelijk aan nul.

Energie en massa

Einstein legde een verband tussen *energie en massa*. Massa kan worden omgezet in energie:

$$E = mc^2$$

waarin c de lichtsnelheid is ($c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Opgave 8.3

Bij kernsplijting van uraan ^{235}U is de massa van de splijtingsproducten 0,091% minder dan het oorspronkelijke materiaal. Bereken hoeveel energie vrijkomt bij de splijting van 1 g ^{235}U .

9 – Het machtige atoom

Kwantumtheorie

Dit hoofdstuk gaat over kleine deeltjes – moleculen, atomen en de bouwstenen daarvan – protonen, neutronen en elektronen. Voor het begrijpen van de hun eigenschappen (en ook die van licht dat in het vorige hoofdstuk ter sprake kwam) is de kwantumtheorie van groot belang. Elementaire deeltjes *en* elektromagnetische golven hebben volgens de kwantumtheorie beide de eigenschappen van zowel deeltjes als golven.

Deeltjeseigenschappen zijn energie en impuls.

Golfeigenschappen zijn periodiciteit in tijd en ruimte (golven hebben een golflengte, λ , en voortplantingssnelheid, c in vacuüm), reflectie en refractie (breking), diffractie (buiging) en interferentie.

Uitvoerige informatie hierover vind je bijvoorbeeld bij:

http://theory.uwinnipeg.ca/mod_tech/node143.html

Broglie-golven

De golflengte van deeltjes met een massa (elektronen, atomen, moleculen en grotere deeltjes) wordt de *Broglie-golflengte* genoemd. Bij deeltjes zonder massa (fotonen) is er ook een verband tussen de golflengte van de golf en de impuls van het deeltje. De Broglie-golflengte is gelijk aan:

$$\lambda = h/p$$

waarbij $p = mv$ als $v \ll c$ en (als het om een elektron gaat) er sprake is van een vrij elektron dat niet begrensd is in plaats.

waarin h de *constante van Planck* is ($h = 6,62 \times 10^{-34}$ Js),
 m de massa (kg) en v de snelheid ($m \cdot s^{-1}$)

Constante van Planck

Bij licht bestaat er een verband tussen de hoeveelheid energie van een lichtkwantum, foton (deeltje zonder massa) en de frequentie van het licht:

$$E = hf$$

waarin h weer de constante van Planck voorstelt en f de frequentie. Omdat licht zich verplaatst met een snelheid $c = 3,00 \times 10^8$ m·s⁻¹ en $f = c/\lambda$ geldt ook:

$$E = hc/\lambda \text{ of wel } E = 19,9 \times 10^{-26}/\lambda$$

Opgave 9.1

Bereken het product van snelheid en golflengte voor een elektron (massa van een elektron = $9,11 \times 10^{-31}$ kg) .

Opgave 9.2

Bereken de Broglie-golflengte van een elektron wanneer het zich zou bewegen met een snelheid van 1 meter per seconde.

Opgave 9.3

Bereken de energie van een foton dat een golflengte heeft van 750×10^{-9} m.

10 – Weg met het lood

Het lood in dit hoofdstuk werd gebruikt voor de bepaling van de leeftijd van de aarde aan de hand van de verhouding lood/uranium. Dat was nogal een klus vanwege verontreinigingen. Tot na het midden van de 20^{ste} eeuw werd lood ondermeer toegepast in verf en voor drinkwaterleidingen, en tot het eind van de 20^{ste} eeuw werd het toegevoegd aan benzine. Via uitlaatgassen werd lood zo wereldwijd verspreid. Dat bemoeilijkt de datering van gesteenten, maar bovenal leidde het nogal eens tot loodvergiftiging of tot chronische gezondheidsproblemen. De meeste toepassingen van lood werden daarom verboden. De lood/uraniumverhouding is bruikbaar voor datering van materiaal van miljoenen jaren oud. Voor minder oude materialen (tot zo'n 200 000 jaar) is koolstofdatering veel geschikter.

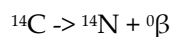
Isotopen

Radioactief verval

zie ook tabel 25 in BINAS

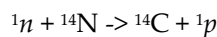
Koolstofdatering

Van koolstof bestaan drie *isotopen* ^{12}C , ^{13}C en ^{14}C . De eerste twee zijn stabiel, de laatste is instabiel en ondergaat *radioactief verval* met een halfwaardetijd van 5730 jaar. Daarbij ontstaat uit ieder ^{14}C atoom een stikstof atoom en straling in de vorm van een β -deeltje (een elektron):



Kosmische straling

Het overgrote deel van de ^{14}C ontstaat in de atmosfeer door *kosmische straling*, waarbij neutronen ontstaan. Zo'n neutron kan een stikstofmolecule splitsen en één van de stikstofatomen omzetten in een ^{14}C atoom, waarbij een proton vrijkomt:



Kalibratie-technieken

Dat gebeurt vooral op een hoogte van 9-15 km en dicht bij de magnetische polen. De ^{14}C atomen verspreiden zich over de gehele atmosfeer en binden met zuurstof tot CO_2 . Voor globale analyses wordt meestal verondersteld dat de fractie ^{14}C (van de totale hoeveelheid koolstof) in de atmosfeer en de bovenste lagen van de oceanen ongeveer constant blijft op $1/10^{12}$. Daar kunnen wel wat kanttekeningen bij worden geplaatst. Bijvoorbeeld, in de periode dat er kernproeven werden gehouden in de atmosfeer (rond 1950) verdubbelde de ^{14}C -concentratie tijdelijk. Voor nauwkeurige analyses wordt daarom gecorrigeerd met speciale *kalibratietechnieken*.

Nadere details zijn te vinden op:

<http://www.c14dating.com/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Radiocarbon_dating

De leeftijd van een restant (zonder correctie) kan worden bepaald met de volgende formule:

$$t = -\ln(\text{overgebleven fractie } ^{14}\text{C}) \times 8270 \text{ jaar}$$

Opgave 10.1

Bereken de ouderdom van de fossiele resten van een prehistorische mens waarin nog 22% van de hoeveelheid ^{14}C over is.

Opgave 10.2

Koolstofdatering verloopt zonder erg veel problemen als alle koolstof in de organische resten afkomstig is van CO₂ die tijdens het leven (of kort daarvoor) uit de atmosfeer of bovenste lagen van de oceaan is opgenomen. Bedenk enkele voorbeelden van organismen die niet aan deze voorwaarden voldoen.

Opgave 10.3

De hoeveelheid ¹⁴C in de atmosfeer is niet constant. Probeer enkele andere oorzaken dan kernproeven te vinden.

11 – Quarks voor Muster Mark

Quarks en leptons

Protonen en neutronen zijn opgebouwd uit nog kleinere deeltjes. De naam ‘quarks’ voor dergelijke deeltjes komt van “Three quarks for Muster Mark”, een regel uit de roman “Finnegans Wake” van James Joyce (1939).

In dit hoofdstuk worden de onderzoekers die zich met deze deeltjes bezig houden voor het voetlicht gebracht. Over hun theorieën, zoals de snarentheorie, wordt nog volop gediscussieerd. Het aardige daarbij is dat deze theorieën relevant kunnen zijn voor zowel de deeltjesfysica als de sterrenkunde. Meer details over de elementaire deeltjes is te vinden op:

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/particles/proton.html>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Quark>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Lepton>

Opgave 11.1

Het eenvoudige atoommodel met drie typen deeltjes: proton, neutron en elektron, heeft plaats moeten maken voor het veel gecompliceerdere model met zes typen quarks en zes typen leptons. Ga na uit welke elementen de deeltjes van de oude indeling zijn opgebouwd en waaraan hun lading kan worden toegeschreven.

Opgave 11.2

Protonen en neutronen zijn stabiel in een atoomkern. Protonen zijn ook stabiel als ze vrij voorkomen, maar neutronen zijn dat niet. Zij ondergaan radioactief verval met een halfwaardetijd van 10,3 minuten. Zoek uit waarin het neutron overgaat, welke leptons daarbij vrijkomen en wat er gebeurt met de quarks.

12 – De aarde beweegt

Plaattektoniek

Geologen dachten aanvankelijk dat de geografische indeling van de aarde ongeveer gelijk was gebleven in loop van de geschiedenis. Toen Alfred Wegener met het idee kwam van bewegende platen, kreeg hij nauwelijks aandacht en al helemaal geen bijval. Het duurde meer dan 50 jaar voordat zijn theorie over plaattektoniek algemeen aanvaard werd. Meer informatie hierover is te vinden in hoofdstuk 10 van het basiskennisboek bij de cursus Aarde, Mens en Milieu. Verder zijn er nog enkele aardige websites:

<http://geology.com/plate-tectonics.shtml>

<http://geology.com/pangea.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Tectonic_plate

Opgave 12.1

Ga na welke grenzen tussen lithosferische platen door of langs Europa lopen.

Opgave 12.2

Ga na waar de sterkste verplaatsing tussen lithosferische platen plaatsvindt en wat voor type plaatgrens daar ligt.

Opgave 12.3

Ga na in welke periode Afrika en Zuid-Amerika van elkaar gescheiden zijn en zoek uit welke groepen dieren er toen al bestonden, bijvoorbeeld met behulp van hoofdstuk 9 in het basiskennisboek bij de cursus Aarde, Mens en Milieu.

13 – Bang!

Meteorieten kunnen kolossale gevolgen hebben voor de aarde en het leven op aarde. De grootste inslag op het vaste land van de Verenigde Staten was de inslag bij Manson met een krater met een doorsnee van zo'n 30 km. Door een nog grotere inslag op het schiereiland Yucatán in Mexico onstond de Chicxulub-krater met een doorsnee van ongeveer 180 km.

De KT-grens

Aan het eind van het Krijt, 65 miljoen jaar geleden, voor de aanvang van het Tertiair, zijn erg veel soorten organismen plotseling uitgestorven, o.a. de dinosauriërs. Dat uitsterven wordt in verband gebracht met een kolossale ecologische ramp. De meest waarschijnlijke oorzaak die daaraan kan worden gekoppeld, is de inslag van de meteoriet op het schiereiland Yucatán in Mexico.

Nadere details zijn o.a. te vinden op de volgende websites:

http://en.wikipedia.org/wiki/Cretaceous-Tertiary_extinction_event

<http://www.ucmp.berkeley.edu/education/events/cowen1b.html>

http://en.wikipedia.org/wiki/Chicxulub_Crater

http://en.wikipedia.org/wiki/Manson_crater

Opgave 13.1

Waarom kan de inslag van de Manson krater niet de oorzaak zijn geweest van het verdwijnen van de laatste dinosauriërs?

Opgave 13.2

De KT-grens wordt gekenmerkt door een dunne laag klei met een abnormaal hoge concentratie iridium en door tektiet, deels als hele kleine glasbolletjes, deels als brokjes gebarsten kwarts. Zoek uit wat de oorsprong is van deze materialen en hoe ze verspreid zijn over de aarde.

Opgave 13.3

De langdurige uitbarsting van een supervulkaan nabij India (de Deccan Traps) wordt als een alternatieve verklaring gegeven voor het uitsterven van dinosauriërs en vele andere soorten op de KT-grens. Ga na of de meteoriet en de vulkanische verklaring elkaar uitsluiten.

14 – Het vuur onder onze voeten

Het binnenste van de aarde

In dit hoofdstuk gaat het om de aarde zelf, en zeker niet alleen om het oppervlak van de aarde, waar leven is. We weten het één en ander over het binnenste van de aarde door vulkanisme en aardbevingen. Boren in de aarde levert alleen kennis op over de korst, maar aan de hand van de beweging van trillingen door de aarde zijn we wel wat te weten gekomen over de binnenste structuur. Nadere details hierover zijn o.a. te vinden op de websites:

http://en.wikipedia.org/wiki/Structure_of_the_Earth

<http://www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/interior.html>

Opgave 14.1

Maak een lijstje of tabelletje met de globale kenmerken (dikte, temperatuur en druk) van/in korst, mantel en kern van de aarde.

Opgave 14.2

Ga na hoeveel natrium (Na), magnesium (Mg), aluminium (Al), silicium (Si), kalium (K), calcium (Ca), ijzer (Fe) en nikkel (Ni) men in de korst, mantel en kern van de aarde veronderstelt.

Opgave 14.3

In hoeverre valt deze verdeling te rijmen met de hypothese dat zware elementen in of bij de kern zitten en lichtere stoffen bij de korst? Kijk niet alleen naar het atoomgewicht van deze elementen (periodiek systeem), maar ook naar de dichtheden (BINAS).

Opgave 14.4

Hoe zou je de gevallen waarin de verdeling niet klopt met deze hypothese dan wel kunnen verklaren?

15 – Gevaarlijke schoonheid

Vulkanisme

De vulkanische uitbarstingen van de afgelopen eeuwen stellen bijna niets voor als je ze vergelijkt met sommige uitbarstingen die in het verleden hebben plaatsgevonden. Soms ging het daarbij om metersdikke aslagen of enorme hoeveelheden lava die grote delen van, of complete continenten bedekten. Veel aanvullende informatie daarover is te vinden op de volgende websites:

http://en.wikipedia.org/wiki/Yellowstone_Caldera

<http://pubs.usgs.gov/fs/2005/3024/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Lake_Toba

<http://volcano.und.edu/volcanoes.html>

http://volcano.und.edu/vwdocs/vw_exchange.html

Bekijk het Yellowstone Park ook eens vanuit de lucht met behulp van Google Earth op 44 56 N en 110 42 W

Je kunt het programma gratis binnenhalen via:

<http://earth.google.com/>

Opgave 15.1

Ga na aan de hand van welke factoren de sterkte van een vulkaanuitbarsting met de 'Volcanic Explosivity Index' (VEI) wordt vastgesteld. Geef aan welke criteria gelden voor een uitbarsting van $VEI \geq 5$.

Opgave 15.2

Ga na welke vulkaanuitbarstingen er in de afgelopen 10 000 jaar zijn geweest met $VEI \geq 7$ en vergelijk deze met de grootste bekende uitbarstingen van Yellowstone, Toba en Decca Traps.

Opgave 15.3

Zoek uit in hoeverre er een verband bestaat tussen de vulkaaneruptions met $VEI \geq 5$ in de afgelopen 10 000 jaar en de grenzen tussen de lithosferische platen.

16 – De eenzame planeet

Voorwaarden om te leven

De aarde onderscheidt zich in veel opzichten van de andere planeten. Binnen het zonnestelsel is de aarde uniek vanwege de condities die leven mogelijk maken. Op de volgende websites is daar meer informatie over te vinden.

<http://solarsystem.nasa.gov/>

<http://www.nineplanets.org/>

Opgave 16.1

Zoek uit wat de fysische omstandigheden (samenstelling atmosfeer, en atmosferische druk, hoeveelheid zonlicht per oppervlakte-eenheid, oppervlaktetemperatuur, versnelling van de zwaartekracht, daglengte en duur van een jaar) zijn op de planeten Mercurius, Venus, Aarde, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus.

Opgave 16.2

Wat zou je op grond van deze gegevens kunnen zeggen over de kansen van 'leven' zoals wij dat kennen op de andere planeten?

17 – In de troposfeer

De atmosfeer

Ons klimaat wordt grotendeels gestuurd door processen in de atmosfeer. De troposfeer is daar de onderste laag van. Meer informatie hierover is te vinden in hoofdstuk 12 van het basiskennisboek bij de cursus Aarde, Mens en Milieu. Eén van belangrijke factoren voor het weer is het *corioliseffect*.

Het corioliseffect

Door het corioliseffect kan een bewegend deeltje op het noordelijk halfrond van de aarde een baan beschrijven die met de wijzers van de klok meeloopt, en op het zuidelijk halfrond tegen de wijzers van de klok ingaat. De *coriolisversnelling* is gelijk aan:

Coriolisversnelling

$$a_c = 2\omega \times v$$

waarin ω de hoeksnelheid is (op aarde is dat $7,3 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$)
en v de snelheid (ms^{-1})

De *corioliskracht* is de versnelling \times de massa, dus

Corioliskracht

$$F_c = 2m \times \omega \times v$$

Deze kracht wordt uitgeoefend op ieder bewegend deeltje en de richting is loodrecht op de bewegingsrichting én loodrecht op de rotatie-as. De horizontale component van die kracht is daarom 0 op de evenaar en op andere plaatsen op aarde gelijk aan:

$$a_c = f \times v$$

met v als horizontale component van de snelheid en

$$f = 2\omega \sin\phi$$

waarin ϕ de geografische breedte voorstelt.

Lucht en watermassa's die zich met een snelheid v bewegen en die niet door andere krachten worden beïnvloed, beschrijven een cirkel waarvan de straal is:

$$R = v/f$$

Meer informatie over het corioliseffect kan worden gevonden op de volgende websites:

http://abyss.uoregon.edu/~js/glossary/coriolis_effect.html

http://en.wikipedia.org/wiki/Coriolis_effect

<http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/earth/coriolis.html>

Opgave 17.1

Ga na wat straal is (1) van de cirkel die beschreven wordt door een luchtmassa die zich beweegt met een snelheid van 10 ms^{-1} , en (2) van de cirkel die beschreven wordt door een watermassa die zich beweegt met een snelheid van 0.1 ms^{-1} . Bepaal de cirkels op geografische breedtes van bijvoorbeeld 0, 15, 30, 45, 60, 75 en 90° . Zowel de lucht- als de watermassa worden verondersteld zich vrij te bewegen, zonder dat daar andere krachten op inwerken.

Opgave 17.2

Waarom draait de lucht om een gebied met lage luchtdruk (of om het centrum van een cycloon) precies in omgekeerde richting (op het noordelijk halfrond tegen de klok, en op het zuidelijk halfrond met de klok mee) als de cirkels die door corioliskrachten kunnen ontstaan?

Opgave 17.3

In het centrum van een cycloon gaat de luchtstroom omhoog, van lage luchtdruk op de grond naar nog lagere luchtdruk hoger in de atmosfeer. Waarom is er niet overal een omhooggaande luchtstroom?

18 – De gesprongen hoofdleiding

Dit hoofdstuk gaat over water, één van de basisvoorwaarden voor leven. Water is bijna overal. Het verdampt uit oceanen, uit de vegetatie en uit de bodem, condenseert weer, valt tot in het hooggebergte als vloeibare of vaste neerslag, en stroomt vervolgens langzaam (ijs) of snel terug naar de oceanen. Deze *kringloop* is belangrijk voor een duurzame voorraad van schoon en zoet water. Water speelt een grote rol in transportprocessen, zowel in de geografische ruimte, als binnen in levende organismen. Bij dat transport kan het gaan om bewegende watermassa's met opgeloste stoffen en/of meebewegende grotere objecten, maar ook om de verspreiding van opgeloste stoffen in stilstaand water (*diffusie*) of het transport van water tussen compartimenten die door membranen gescheiden zijn als gevolg van verschillen in de concentraties opgeloste stof (*osmose*).

De waterkringloop

Meer informatie daarover is te vinden op de volgende websites:

http://en.wikipedia.org/wiki/Water_cycle

<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

Opgave 18.1

Maak een tabelletje met de hoeveelheden en de verblijftijden van water in de belangrijkste reservoirs op aarde.

Opgave 18.2

Bereken hoeveel meter de zeespiegel stijgt wanneer alle landijs zou smelten. Het totale wateroppervlak op aarde bedraagt nu $363 \times 10^{12} \text{ m}^2$ (71%).

Osmose

In het meeste water op aarde zijn zouten opgelost. In zeewater zit bijvoorbeeld 35 g zout l^{-1} (of wel 0,6 mol l^{-1}). In de lichaamsvloeistoffen van landdieren en landplanten zit veel minder zout, bij zoogdieren ongeveer 9 g zout l^{-1} . Als zoogdiercellen in zeewater worden gelegd, verliezen ze water en verschrompelen ze. Omgekeerd, als plantencellen in zoet water worden gelegd, zwellen ze op door het aantrekken van water, voor zover de veerkracht van de celmembranen dat toelaat. Er wordt dan een druk opgebouwd als gevolg van de hoeveelheid opgeloste stof. Veel celmembranen zijn doorlatend voor watermoleculen, maar niet voor de opgeloste zoutionen zoals Na^+ en Cl^- of suikermoleculen. Verschillen in zoutconcentratie worden op die wijze verminderd. Het drukverschil dat tussen twee oplossingen van verschillende concentraties ontstaat ten gevolge van osmose is de *osmotische druk*. De druk die wordt uitgeoefend door een compartiment met water *zonder opgeloste zouten* op een compartiment met water met opgeloste zouten, heet *osmotische waarde*. Deze druk, die aanzienlijk kan zijn, is volgens de Wet van Van 't Hoff gelijk aan:

$$\pi = 1000 \text{ cRT}$$

Waarin π de druk in Nm^{-2} , c de zoutconcentratie in mol l^{-1} , R de universele gasconstante ($8,3 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$) en T de absolute temperatuur ($^{\circ}\text{K}$) is.

Osmotische druk

Osmotische waarde

Opgave 18.3

Bereken de osmotische waarde van zeewater ($0,6 \text{ mol l}^{-1}$), lichaamsvloeistof ($0,15 \text{ mol l}^{-1}$) en zuiver water bij 20°C .

Opgave 18.4

Een buis met een zoutoplossing wordt bij 20°C in een bak met zuiver water gehangen. De zoutoplossing staat 10 cm hoog in de buis en dat is aanvankelijk precies gelijk aan het niveau van het water in de bak. De onderzijde van de buis (die aanvankelijk gesloten was) wordt nu door een membraan gescheiden van het water in de bak. Deze membraan heeft de eigenschappen van een celwand en is alleen doorlatend voor watermoleculen. De vloeistof in de buis stijgt geleidelijk en komt uiteindelijk niet hoger dan 30 cm boven het waterniveau in de bak. De bak is zo groot dat de daling van het waterniveau verwaarloosd kan worden. Bereken de concentratie van de oorspronkelijke zoutoplossing in mol l^{-1} . Reken de dichtheid van de zoutoplossing voor het gemak gelijk aan die van water.

19 – Het ontstaan van het leven

Levende organismen zijn samengesteld uit tal van soms erg complexe biomoleculen, zoals koolhydraten, lipiden, eiwitten en nucleïnezuren. Het is bijna onvoorstelbaar hoe dergelijke stoffen zouden kunnen ontstaan in een omgeving waar nog geen leven is. Dit hoofdstuk gaat over deze moleculen en over de eerste micro-organismen. Eiwitten behoren tot de belangrijkste componenten van levende wezens.

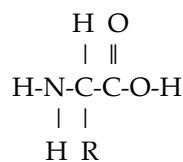
Eiwitten en aminozuren

Eiwitten komen voor in oneindig veel varianten. Ieder eiwit is opgebouwd uit aminozuren. Hiervan komen 21 varianten voor in natuurlijke eiwitten. De scheikundige formule van een aminozuur kan worden weergegeven als $RC_2O_2NH_4$, waarin $C_2O_2NH_4$ het basisdeel is (dat voor elk aminozuur hetzelfde is) en R het deel is dat verschillend is voor ieder aminozuur. Het koolstofatoom gaat altijd vier *covalente bindingen* aan, het zuurstofatoom twee, het stikstofatoom drie, en het waterstofatoom één. De *structuurformule* kan aldus worden weergegeven:

zie bijvoorbeeld 1.7 in voorkennis scheikunde bij de cursus Aarde, Mens en Milieu

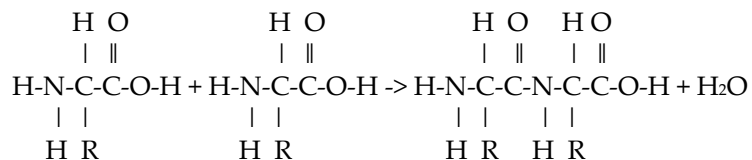
Covalente binding

Structuurformule



Peptidebinding

Aminozuren worden aaneen gekoppeld door middel van *peptidebindingen*. Op die manier kunnen honderden aminozuren aaneen worden gekoppeld tot een polypeptideketen:



Opgave 19.1

Er wordt een polypeptideketen gemaakt van vijf 'Alanine' moleculen (dat zijn aminozuren met $R = \text{CH}_3$) en vijf 'Cysteïne' moleculen (aminozuren met $R = \text{HSCH}_2$). Wat is de molecuulmassa van deze polypeptide? Gebruik het periodiek systeem (zie voorkennis scheikunde bij de cursus Aarde, Mens en Milieu of BINAS) voor de bepaling van de atoommassa's.

Waterstofbrug

Polariteit

Van der Waalskrachten

Door de peptidebindingen wordt de basisstructuur van de keten gevormd. Daarnaast krijgt een eiwitmolecuul structuur door tal van andere bindingen tussen de verschillende aminozuren in de keten. Daarvan komt de *waterstofbrug* het meeste voor. Deze ontstaat door *polariteit*. Het aan N gebonden H-atoom heeft een zwak positieve lading en het dubbelgebonden zuurstofatoom een zwak negatieve. Daar ontstaat een H-brug tussen beide groepen. Deze binding, die door *Van der Waalskrachten* tot stand komt, is veel zwakker dan de covalente binding. Waterstofbruggen komen voor tussen aminozuren die óf enkele plaatsen in de basisketen uit elkaar liggen, óf tussen stukken van een keten die in elkaar gevouwen is.

Opgave 19.2

In hoeverre wordt de molecuulmassa van een polypeptide beïnvloed door waterstofbruggen?

Disulfidebrug

Een derde belangrijke binding die belangrijk is voor de structuur van een eiwit is de *disulfidebrug*, die kan worden gevormd tussen twee Cysteïne-aminozuren in de keten. Het deel R van Cysteïne heeft de formule CH_2SH . Daarin gaat het zwavelatoom twee covalente bindingen aan, één met C en één met H. De vorming van een disulfidebrug vindt plaats door oxidatie. Daarbij worden twee H^+ -ionen gevormd en twee elektronen. Wanneer zuurstof als elektronenacceptor fungeert, wordt daarbij water gevormd. Bij de disulfidebrug is de covalente binding van S met H vervangen door een covalente binding van S met de S in het andere aminozuurmolecuul.

Opgave 19.3

In hoeverre wordt de molecuulmassa van een polypeptide beïnvloed door disulfidebruggen?

Opgave 19.4

Er bestaan twee aminozuren met S, Cysteïne en Methionine. Probeer aan de hand van de structuurformules (BINAS of Wikipedia) een verklaring te geven waarom Cysteïne wel disulfidebruggen vormt en Methionine niet.

20 – Een kleine wereld

In dit hoofdstuk staan bacteriën en virussen centraal. Met name bacteriën staan aan de basis van al het leven en het is erg waarschijnlijk dat alle huidige levensvormen van één oerbacterie, de gemeenschappelijke voorouder, afstammen. Omdat bij bacteriën de generaties erg snel op elkaar volgen, laten ze ook goed zien hoe soorten door evolutie kunnen veranderen als de externe omstandigheden zich wijzigen, bijvoorbeeld door de toepassing van antibiotica.

LUCA

Een belangrijk uitgangspunt bij het maken van stambomen is het samenstellen van *monofyletische groepen*. Dat zijn groepen van organismen die van dezelfde voorouder afstammen. De grootste monofyletische groep is die van alle thans levende organismen. Er zijn sterke aanwijzingen dat deze allemaal afstammen van één en dezelfde voorouder. Het belangrijkste argument daarvoor is dat er grote overeenkomsten zijn in de basale eigenschappen, zoals erfelijkheid en eiwitsynthese. Deze 'Last Universal Common Ancestor' wordt afgekort als LUCA. LUCA bezat hoogstwaarschijnlijk al *die* eigenschappen die gemeenschappelijk zijn voor alle levende organismen, maar het is niet bekend welke eigenschappen deze voorouder daarnaast nog bezat. LUCA kwam niet noodzakelijkerwijs voort uit de eerste vormen van leven. Het is mogelijk dat er andere vormen van leven hebben bestaan die door de voorouders en/of afstammelingen van LUCA verdrongen zijn. Er bestaat geen eenstemmig antwoord op de vraag in hoeveel en welke monofyletische groepen de levensvormen na LUCA kunnen worden opgedeeld. Meestal worden daarbij *Bacteria*, *Archaea* en *Eucaria* onderscheiden. Die groepen hebben ook nog een relatie met virussen, maar hoe die in dat *fylogenetische patroon* passen is nog minder duidelijk.

Monofyletische groepen

fylogenie =
afstamming

Nadere details hierover zijn op de volgende websites te vinden:

<http://www.tolweb.org/tree/>

http://www-archbac.u-psud.fr/Meetings/LesTreilles/LesTreilles_e.html

<http://en.wikipedia.org/wiki/Cladistics>

Opgave 20.1

Probeer uit te zoeken in hoeverre de Archaea als een monofyletische groep kunnen worden beschouwd.

Opgave 20.2

Zoek argumenten voor en tegen de opvatting dat LUCA een hyperthermofoel organisme was (dat leefde bij extreem hoge temperaturen).

Opgave 20.3

Zoek uit wat (a) de waarschijnlijke oorsprong is van mitochondriën, de eiwitfabrieken in een cel van de Eucaria, en (b) de oorsprong van de chloroplasten, de celorgaanjes die nodig zijn voor fotosynthese.

Opgave 20.4

Zoek uit wat de verschillen zijn tussen monofyletische, parafyletische en polyfyletische groepen.

21 – Het leven gaat verder

Er zijn heel weinig fossiele resten van levende organismen van voor het Cambrium, de oudste periode van het Paleozoïcum. In dat Cambrium ontstonden massaal nieuwe, meercellige levensvormen. Van veel van die levensvormen zijn geen of bijna geen fossielen bewaard gebleven omdat harde delen ontbraken. Van sommige vormen is er wel een uitgebreid fossielenarchief dankzij de harde delen. Voorbeelden daarvan zijn de trilobieten, ammonieten (een groep inktvissen), en de tweekleppige schelpdieren (Bivalvia). Op sommige plekken zijn ook restanten van organismen met weinig harde delen gevonden. Dat zijn vooral plekken waar grote groepen organismen plotseling ‘begraven’ zijn, bijvoorbeeld door het afschuiven van een grote hoeveelheid sediment in zee. Dat is ondermeer het geval geweest bij de Burgess Shale-formatie.

Arthropoden

Trilobieten en Burgess Shale

Zeer kenmerkende fossielen uit het Paleozoïcum zijn de trilobieten. Het waren mariene *arthropoden*, de groep waartoe ook de huidige pissebedden, kreeften, spinnen en insecten behoren. Ze kwamen wereldwijd voor. Trilobieten zijn ontstaan in het beneden Cambrium, uit primitieve arthropoden die al in het Precambrium voorkwamen, en bleven tot vrijwel het einde van het Perm. Vooral tijdens Cambrium, Ordovicium, Siluur en Devoon was de diversiteit onder de trilobieten bijzonder groot. In de meeste mariene afzettingen uit die perioden domineren de trilobieten. Ze worden dan ook dikwijls beschouwd als de groep die in die perioden het leven in de zee bepaalde. De fossielen van Burgess Shale geven een heel andere kijk op die periode.

Veel meer informatie over trilobieten is te vinden op:

<http://www.trilobites.info/>

<http://www.tolweb.org/tree/>

en over de Burgess Shale op:

<http://www.burgess-shale.bc.ca/>

Wikipedia geeft zo nodig ook details.

Opgave 21.1

Wat zijn de belangrijkste kenmerken van de trilobieten?

Opgave 21.2

Binnen de trilobieten worden diverse mono- en parafyletische hoofdgroepen (ordes) onderscheiden. Hoeveel zijn dat er? Worden de Ptychopariida beschouwd als een mono- of parafyletische groep (zie hoofdstuk 20)? En welke orde overleefde tot in het Perm?

Opgave 21.3

Waarom domineren de trilobieten in het fossielenarchief van het Paleozoïcum?

Opgave 21.4

Waarom worden in de Burgess Shale zoveel andere marine fossielen gevonden?

22 – Voorgoed voorbij

zie hoofdstuk 12

Dit hoofdstuk gaat over de ontwikkelingen van het leven op aarde vanaf de tijd dat er planten en dieren op het land verschenen (zo'n 450 miljoen jaar geleden) tot het eind van het Mesozoïcum (ongeveer 65 miljoen jaar geleden). Aan het eind van die periode stierven onder andere alle dinosauriërs uit. Dat gebeurde als gevolg van een catastrofale meteorietinslag, maar was niet de enige ramp die in die periode plaatsvond. Daarvoor waren minstens vier andere grote rampen geweest die allemaal leidden tot het uitsterven van minstens tweederde van de levende soorten.

vertebraten =
gewervelde dieren

Tetrapoden

= vier poten

Stegocephalen: gewervelde dieren met vier ledematen

In het Devoon ontstond ongeveer 390 miljoen jaar geleden een groep vissen, de Sarcopterigii, met twee paar kwastvormige vinnen, één voor en één achter. Uit die groep ontstonden de *landvertebraten*. Dat begon ongeveer 360 miljoen jaar geleden in ondiepe moerassige zoetwatergebieden. Deze eerste *tetrapoden* konden zich waarschijnlijk nog maar gebrekkig op het land bewegen. Ze waren echter wel in staat om te overleven als de poelen, waarin ze zich meestal bevonden, tijdelijk droogvielen. Voor de overstap naar het landleven waren grote aanpassingen nodig. Dat heeft enige tijd gekost. Daarna leidde de invasie op het land tot het ontstaan van talloze nieuwe soorten die specialismen konden ontwikkelen onder geheel nieuwe ecologische omstandigheden.

Meer informatie hierover is te vinden in hoofdstuk 9 van het basiskennisboek bij de cursus Aarde, Mens en Milieu, en op:

<http://www.tolweb.org/tree/>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Tetrapod>

<http://www.tolweb.org/Ichthyostega>

Opgave 22.1

Wat waren de grootste problemen voor de gewervelde dieren bij de overstap van water naar land?

Opgave 22.2

Zijn de Amphibia en Reptiliomorpha mono-, para- of polyfyletische groepen (zie hoofdstukken 20 en 21)?

Opgave 22.3

Was de Ichthyostega (die door Jarvik werd onderzocht) een amfibie, een reptiel, of geen van beide?

23 – De rijkdom van het bestaan

Biodiversiteit

Van de thans levende soorten organismen is maar een klein deel bekend. Van de vaatplanten en de gewervelde dieren zijn de meeste soorten beschreven, maar onder de bacteriën, ééncelligen, mossen, algen, schimmels en ongewervelde dieren zitten nog heel veel onbekenden. Biodiversiteit is echter meer dan deze grote verzameling van soorten. Op de UNCED-conferentie in *Rio de Janeiro* (1992) werd biodiversiteit omschreven op drie niveaus: de variatie tussen ecosystemen, tussen soorten en binnen soorten.

Rio - 1992

Er bestaat al vrij lang een tamelijk goed systeem om soorten te beschrijven en te benoemen. Bij de wetenschappelijke naamgeving (*nomenclatuur*) worden de regels van het systeem van Linnaeus aangehouden. Iedere soort wordt daarin aangegeven met een unieke naam uit twee delen, beginnende met de naam van het geslacht (genus) dat met een hoofdletter wordt geschreven, met daarop volgend de naam van de soort (species) die met kleine letters wordt geschreven. In de officiële *taxonomische literatuur* volgt dan nog de naam (of afgekorte naam) van degene die de soort heeft beschreven (voor Linnaeus is dat een L) en het jaar waarin die beschrijving heeft plaatsgevonden. Linnaeus deelde de soorten die hij beschreven had hiërarchisch in volgens globale gelijkenis in geslachten, families, ordes, klassen, stammen en rijken. Dat systeem was aanvankelijk nogal kunstmatig, waarbij soms bijna alleen op bepaalde kenmerken werd gelet (bij de zaadplanten was dat bijvoorbeeld het aantal meeldraden in de bloem). Linnaeus had immers nog geen weet van evolutie. Later probeerde men een natuurlijk systeem te maken, waarin de hiërarchie bepaald werd door de afstamming tijdens de evolutie. Beschrijving van de diversiteit tussen ecosystemen gebeurt veel minder systematisch, en, hoewel we in staat zijn om complete genomen te analyseren, er wordt zelden een bevredigende beschrijving gemaakt van de genetische diversiteit binnen soorten. Bescherming van biodiversiteit is mede daarom een moeizame onderneming.

Nomenclatuur

Taxonomie

= leer van de
indeling

Meer informatie over het indelen van biodiversiteit en over de bescherming van biodiversiteit is te vinden op de volgende sites:

http://en.wikipedia.org/wiki/Linnaean_taxonomy

<http://www.tolweb.org/tree/>

<http://www.biodiv.org/default.shtml>

<http://www.nederlandsesoorten.nl>

Opgave 23.1

De hoofdcategorieën van Linnaeus geven onvoldoende ruimte om een indeling te maken waarin alle evolutionaire veranderingen van enige betekenis een plaats kregen in de stamboom. Probeer te achterhalen hoe de Afrikaanse olifant hiërarchisch is ingedeeld binnen de Animalia. Probeer ook te achterhalen welk niveau daarin als soort, geslacht, familie, orde, klasse, stam en rijk worden aangemerkt. Probeer tenslotte een verklaring te geven waarom tussen sommige van deze niveaus zoveel tussenniveaus worden aangegeven.

Opgave 23.2

Probeer uit te zoeken welk accent Nederland bij de *Convention on Biodiversity* legt bij de bescherming van de eigen biodiversiteit.

Opgave 23.3

Zoek uit welke bescherming de grote modderkruiper in Nederland geniet.

24 – Cellen

Alle levende organismen bestaan uit één of meer cellen, bouwstenen die meestal alleen met een microscoop kunnen worden waargenomen. Bij bacteriën gaat het om één cel zonder kern. Bij de Eukaryoten kan het om meer cellen gaan, elk met een celkern. Veel organismen bestaan uit heel veel cellen. Vrijwel alle cellen van één en hetzelfde organisme hebben exact dezelfde erfelijke informatie. Dat is het resultaat van een erg precies mechanisme voor celdeling. Daarnaast vinden er heel veel processen plaats in de cellen die noodzakelijk zijn voor het voortbestaan.

Celdeling en de ontwikkeling van een bevruchte eicel

Mitose

Gewone celdeling heet *mitose*. Daarbij worden *meestal* twee nieuwe cellen gevormd die *functioneel* identiek zijn aan de oorspronkelijke cel. Ze hebben dezelfde genetische informatie in de kern en dezelfde typen van celorganellen.

Interfase

Een niet delende cel verkeert in *interfase*. Bij voldoende vergroting is de kern dan duidelijk herkenbaar. In die periode wordt het DNA in de kern verdubbeld. Bij de deling van een celkern wordt de genetische informatie heel precies verdeeld tussen beide dochterkernen. Tijdens de eerste fase van de deling, de *profase*, worden de *chromosomen* zichtbaar in de korrelige kernmassa. In de *metafase* wordt al duidelijk dat alle chromosomen gespleten zijn in twee *chromatiden*, maar dat deze nog wel op één punt, het *centromeer*, verbonden zijn. Zij komen allemaal in een plat vlak te liggen, het *equatoriale vlak*, in het midden van de cel, en worden door dunne draden, de *spoelfiguur*, verbonden met twee punten, de *polen*, aan weerszijden van het equatoriale vlak. In de *anafase* zijn de chromatiden gescheiden en worden ze door de draden naar beide polen getrokken. Tijdens de laatste fase, de *telofase*, concentreren de nieuwe chromosomen zich rond beide polen, en wordt een tussenwand gevormd op de plaats van het equatoriale vlak.

Profase
Chromosomen
Metafase
Chromatiden

Centromeer
Equatoriale vlak
Spoelfiguur
Polen
Anafase

Telofase

De verschillende fasen van de mitose zijn bijvoorbeeld te zien op:

<http://www.uoguelph.ca/zoology/devobio/210labs/mitosis1.html> en
http://www.biology.arizona.edu/cell_bio/tutorials/cell_cycle/cells3.html

De animatie kan je bekijken met de Quick Time Player of de Flash Player, die beide gratis van internet kunnen worden binnengehaald via:

<http://www.apple.com/quicktime/download/win.html>
<http://store.adobe.com/go/getflashplayer>

en meer informatie over mitose is te vinden bij:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Mitosis>

Mitochondriën
Chloroplasten

De celorganellen, zoals de *mitochondriën* en *chloroplasten*, delen zich afzonderlijk, op een vergelijkbare manier als de deling bij bacteriën.

Opgave 24.1

In welke groepen van levende organismen komt geen mitose voor?

Opgave 24.2

Hoe heet het type van celdeling dat leidt tot de vorming van geslachtscellen? Waarin wijkt dit type celdeling af van mitose?

*Ontogenese**Oriëntatie**Animale pool**Vegetatieve pool**Dorsaal*

= rugzijde

Ventraal

= buikzijde

Zygote

= bevruchte eicel

*Morula**Blastula**Gastrula**Oermond**Ectoderm**Entoderm**Mesoderm*

Bij de ontwikkeling van een dier of een plant uit een bevruchte eicel, de *ontogenese*, leidt deling niet altijd tot twee functioneel identieke nieuwe cellen. Iedere cel heeft een specifieke *oriëntatie*. In een onbevruchte eicel van gewervelde dieren bestaat al een symmetrie-as die de *animale* en *vegetatieve polen* verbindt. Die as bepaalt aan welke kanten kop en staart zullen ontstaan. Bij de bevruchting ontstaat een tweede symmetrie-as tussen *dorsaal* en *ventraal*. Direct na de bevruchting ondergaat de *zygote* een groot aantal delingen, waarbij het totale volume aanvankelijk nauwelijks groeit. Eerst ontstaat daarbij een braamachtig bolletje, de *morula*, waarin bij opeenvolgende delingen een holte ontstaat. In dat *blastulastadium* begint al een onderscheid te ontstaan tussen de cellen aan animale en vegetatieve pool. Vervolgens, bij voortgaande celdeling, ontstaat er een instulping aan de kant van de vegetatieve pool. De blastulaholte wordt daarbij geleidelijk opgevuld doordat de laag cellen van de vegetatieve zijde zich binnen tegen de laag van de animale zijde aanlegt, het *gastrulastadium*. Op de plaats van de instulping blijft een opening, de *oermond*. Er ontstaan vier verschillende typen cellen: het *ectoderm* aan de buitenkant, het *entoderm* aan de binnenkant, het *mesoderm* daartussen en een groepje ongedifferentieerde cellen waaruit later de geslachtscellen zullen ontstaan. Uit het ectoderm ontwikkelt zich later onder andere de huid, uit het mesoderm onder andere de spieren en uit het entoderm onder andere het spijsverteringsstelsel.

Meer informatie over ontogenese is te vinden via:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Embryogenesis>

<http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/F/FrogEmbryology.html>

<http://www.uoguelph.ca/zoology/devobio/dbindex.htm>

Opgave 24.3

Probeer na te gaan uit welk type cellen de 'chorda' ontstaat, die zich bij de gewervelde dieren ontwikkelt tot de wervelkolom, en uit welk type cellen de 'neurale buis' ontstaat, die zich ontwikkelt tot ruggenmerg en hersenen.

25 – Darwins unieke idee

Natuurlijke selectie

Overproductie

Variatie

Fitness

Erfelijkheid

Soorten en soortvorming

De kern van Darwin's idee is dat de kenmerken van populaties (en dus ook soorten) kunnen veranderen door *natuurlijke selectie* die het gevolg is van *overproductie*: er worden veel meer nakomelingen geproduceerd dan er in leven kunnen blijven. Van dat *variabele* nakomelingschap blijven alleen de individuen met de hoogste *fitness* over. Als de verschillen in fitness berusten op *erfelijke verschillen* kan dat leiden tot geleidelijke verandering. Wanneer dit gebeurt in een nieuwe populatie die gescheiden is van de bronpopulatie, kunnen beide populaties zo sterk uit elkaar groeien dat er afzonderlijke soorten ontstaan. Daarvan is sprake als kruisingen niet meer mogelijk zijn of nakomelingen opleveren met een veel lagere fitness. Darwin beseftte echter nog niet wat de motor zou kunnen zijn voor blijvende en nieuwe variatie binnen populaties.

Meer informatie hierover is te vinden in de hoofdstukken 27, 28, 30 en 31 van het basiskennisboek bij de cursus Aarde, Mens en Milieu. Achtergrondinformatie over de vinken die een bijzondere rol speelden in Darwin's gedachtevorming is te vinden op:

http://en.wikipedia.org/wiki/Darwin's_finches

<http://people.rit.edu/rhrsbi/GalapagosPages/DarwinFinch.html>

Opgave 25.1

Welke processen spelen een belangrijke rol bij het genereren van nieuwe erfelijke variatie?

Opgave 25.2

Welke factoren maakten de Galapagoseilanden zo geschikt voor soortvorming van de vinken?

Opgave 25.3

In hoeverre kan er bij de Galapagosvinken van echte soorten worden gesproken?

Opgave 25.4

Is hier sprake geweest van allopatrische- of sympatrische soortsvorming?

Opgave 25.5

Er zijn 19 eilanden van enige omvang in de Galapagosarchipel, maar sommigen daarvan zijn behoorlijk klein, tot minder dan één vierkante kilometer. Wat kan er gebeuren met migranten die op zo'n klein eiland terecht komen?

26 – De essentie van het leven

DNA en eiwitsynthese

Aan het eind van de negentiende eeuw werd ontdekt dat chromosomen en DNA de dragers waren van erfelijke informatie. In 1953 werd het – door het ontrafelen van de structuur van het DNA – duidelijk op welke wijze de erfelijke informatie exact gekopieerd kon worden. Enkele jaren later werd ook vastgesteld hoe deze genetische code werd afgelezen bij de synthese van eiwitten in de cel. Achtergrondinformatie hierover vind je in hoofdstuk 29 van het basiskennisboek bij de cursus Aarde, Mens en Milieu. Daarnaast is uitgebreide informatie te vinden op de volgende websites:

http://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_code

http://en.wikipedia.org/wiki/Protein_biosynthesis

http://www.accessexcellence.org/RC/VL/GG/protein_synthesis.php

Opgave 26.1

Wat zijn de belangrijkste verschillen in structuur tussen DNA en RNA?

Opgave 26.2

Wat is een nucleotide?

Opgave 26.3

Wat is het basisprincipe bij de replicatie van DNA en de transcriptie van DNA naar RNA?

Opgave 26.4

Probeer uit te zoeken welke RNA-codons het beginpunt markeren van een keten die moet worden afgelezen bij de eiwitsynthese en door welke codons het aminozuur lysine in de eiwitketen kan worden geplaatst.

27 – De ijstijd

Gedurende de geologische geschiedenis van de aarde zijn er nogal wat wisselingen in het klimaat geweest. Temperatuur speelde daarbij een sleutelrol. De wisselingen werden veroorzaakt door tal van factoren, deels van buiten de aarde, deels van op de aarde. Sommige van deze factoren versterkten het effect van een verandering (positieve terugkoppelingen), andere factoren verminderden juist het effect van een verandering (negatieve terugkoppelingen).

Uitvoerige informatie hierover is ondermeer te vinden op de volgende websites:

http://en.wikipedia.org/wiki/Ice_age

http://muller.lbl.gov/pages/IceAgeBook/history_of_climate.html

<http://www.homepage.montana.edu/~geol445/hyperglac/time1/milankov.htm>

Opgave 27.1

Het klimaat wisselt voortdurend en ijstijden hebben plaatsgevonden op verschillende tijdschaalniveaus. Probeer drie van die schaalniveaus aan te geven.

Opgave 27.2

Het klimaat hangt ondermeer af van de positie die de aarde heeft ten opzichte van de zon. Naast de dag-nacht- en zomer-wintercycli onderscheidde Milankovich nog drie andere cycli. Welke zijn dat, welke factoren liggen eraan ten grondslag en wat is de periode van elk van die cycli?

Opgave 27.3

Wat zijn belangrijke factoren op aarde die invloed hebben op het klimaat en hoe kunnen ze als positieve of negatieve terugkoppeling werken?

28 – De raadselachtige tweevoeter

Afstamming van de mens

Het is wellicht moeilijk om de grote lijnen – waar een redelijke mate van consensus over bestaat – uit dit hoofdstuk van Bryson te halen. Daarom volgen hier de belangrijkste evolutionaire trends van mensaap naar *Homo erectus*. De daaropvolgende gebeurtenissen komen in hoofdstuk 29 aan de orde.

De naaste verwanten van de mens onder de nu nog levende diersoorten zijn de chimpansee en de bonobo. Tot ongeveer 7 miljoen jaar geleden hebben die drie soorten één gemeenschappelijke voorouder gehad, daarna is de menselijke lijn onafhankelijk van de mensapen geëvolueerd. Er worden heel veel verschillende voorlopers van de moderne mens onderscheiden, maar er bestaat weinig eenstemmigheid over de vraag of die allemaal als aparte soorten kunnen worden beschouwd. Die eenstemmigheid is er meer voor de soorten *Australopithecus africanus* en *A. robustus*. De eerste leefde ongeveer 3 miljoen jaar geleden, de tweede ongeveer 1,5 miljoen jaar geleden. Sommige onderzoekers gaan er vanuit dat *A. africanus* de voorouder is van *A. robustus*, maar anderen vermoeden dat het om twee onafhankelijke lijnen gaat, die ongeveer 2 miljoen jaar geleden kunnen hebben samengeleefd. Beide soorten leefden in Afrika, hun hersenvolume was maar iets groter dan dat van chimpansees en bonobos (ongeveer 500 cm³ tegen 400 cm³), en ze liepen – net als moderne mensen – op twee benen. *A. africanus* leefde aan de rand van het oerwoud, had een menu dat veel lijkt op dat van de chimpansee, was ongeveer 1,20 m lang met vrijwel geen verschillen tussen man en vrouw. *A. robustus* leefde op de savanne, had een menu met vrij veel hard en taai plantaardig voedsel, was wat groter dan *A. africanus* en de mannen waren aanzienlijk forser dan de vrouwen. Deze *Australopithecus*-soorten waren hoogstwaarschijnlijk niet onze directe voorouders. De afstammingslijn wordt wat duidelijker vanaf *Homo erectus*, die ongeveer 1,60 m lang was en een hersenvolume had van 1000 cm³, en leefde vanaf ongeveer 1900 000 jaar geleden (in Afrika) tot om en nabij 30 duizend jaar geleden (in oostelijk Azië). *H. erectus* verspreidde zich rond 1700 000 jaar geleden vanuit Afrika over zuidwestelijk en oostelijk Azië.

Meer informatie over de eerste mensachtigen is te vinden op de volgende websites:

<http://www.archaeologyinfo.com/evolution.htm>

http://www.mnh.si.edu/anthro/humanorigins/ha/a_tree.html

<http://www.freewebs.com/humanfamilytree03k/timelines.htm>

Opgave 28.1

Uit de verschillende websites wordt duidelijk dat er geen eensluidend beeld is. Wel duikt vrij dikwijls de naam *Australopithecus (Paranthropus) boisei* op. In hoeverre is dit een afzonderlijke soort?

Opgave 28.2

De mogelijke voorouder van *Homo erectus* zou *H. habilis*, *H. rudolfensis* of *H. ergaster* kunnen zijn. Is het duidelijk dat dit afzonderlijke soorten zijn en hoe waarschijnlijk zijn de drie scenario's?

Australopithecus africanus

A. robustus

Homo erectus

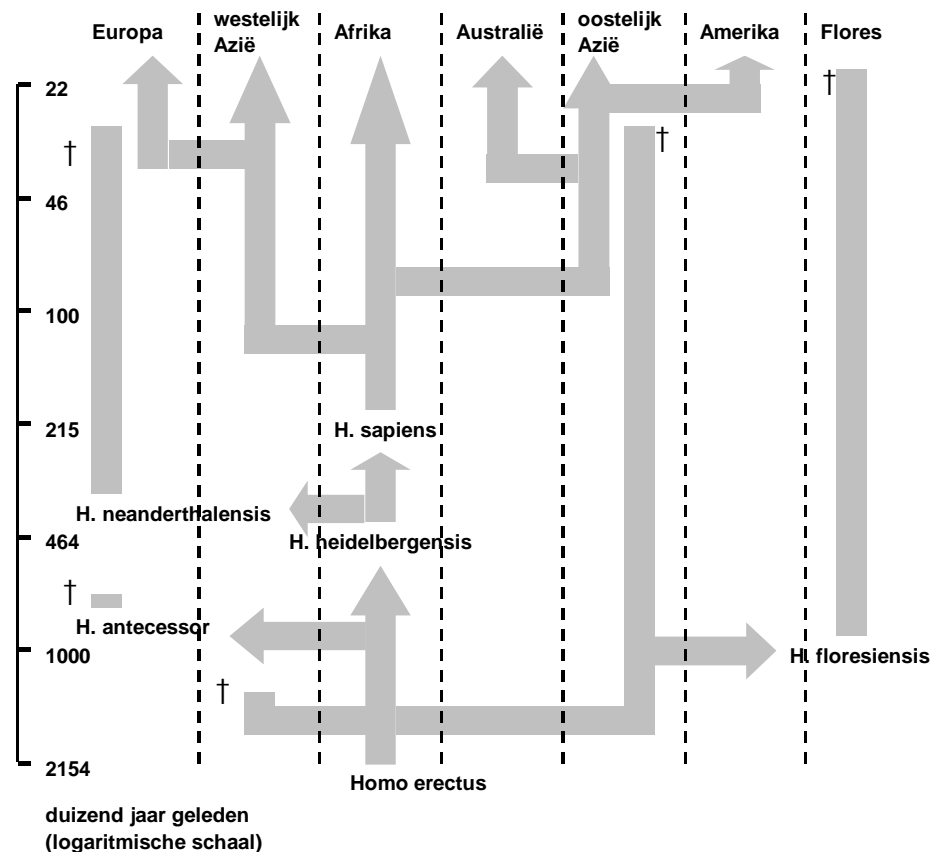
29 – De rusteloze aap

Homo antecessor

H. heidelbergensis

H. neanderthalensis

Volgens een recent overzichtsartikel (Finlayson, 2005 – waarop ook de figuur is gebaseerd) vestigden de eerste Europese mensen zich rond 900 000 jaar geleden in Spanje en Italië. Zij worden wel tot de soort *Homo antecessor* gerekend, die afstamde van de Afrikaanse *H. erectus* populatie. Die lijn is waarschijnlijk uitgestorven. Later, rond 600 000 jaar geleden, verdween *H. erectus* uit Afrika, nadat daaruit een nieuwe soort, *H. heidelbergensis*, was ontstaan. Deze nieuwe soort trok omstreeks 500 000 jaar geleden naar Europa en zuidwestelijk Azië. Daaruit ontstonden de Neanderthalers, *H. neanderthalensis*. Dat waren zwaar gebouwde mensen, van ongeveer 1,70 m lang met een hersenvolume van 1600 cm³, meer nog dan bij de moderne mens (1400 cm³). Deze Neanderthalers werden meestal beschouwd als jagers op groot wild op de toendragebieden die grensden aan het landijs. Thans vermoedt men dat ze vooral in de beboste gebieden leefden met een mediterraan klimaat. Tijdens de ijstijden trokken de Neanderthalers zich terug in zuidelijke gebieden, tijdens de interglacialen verspreidden ze zich weer enigszins naar het noorden.



In Afrika evolueerde rond 200 000 jaar geleden *H. heidelbergensis* tot *H. sapiens*, de moderne Cro-Magnonmens, die veel lichter gebouwd en wat langer waren (1,80 m) dan de Neanderthalers. Ongeveer 120 000 jaar geleden begonnen ze zich te verspreiden naar het Midden-Oosten, rond 80 000 jaar geleden naar de kustgebieden in zuidelijk en oostelijk Azië en ongeveer 50 000 jaar geleden bereikten ze Australië. Ze hebben zich

verder verspreid over centraal Azië (45 000 jaar geleden) en Europa (30 000 jaar geleden), bereikten Siberië (20 000 jaar geleden) en staken de Straat Bering over, waarbij ze Amerika binnenkwamen. De recent ontdekte fossielen van de dwergmensen van het Indonesische eiland Flores (*H. floresiensis*), zijn hoogstwaarschijnlijk afstammelingen van de *H. erectus* populatie in oostelijk Azië. Het uitsterven van de Neanderthalers is waarschijnlijk in de eerste plaats veroorzaakt door veranderingen in het klimaat, met name de verlaging van de temperatuur gedurende de ijstijden, en in veel mindere mate door competitie met de groeiende populatie van Cro-Magnonmensen.

Literatuur

Finlayson, C. (2005). Biogeography and evolution of the genus *Homo*. *Trends Ecol. Evol.* 20: 457-463.

Meer informatie (en zelfs een complete digitale documentaire) is te vinden op de volgende websites:

<http://www.archaeologyinfo.com/evolution.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Homo_antecessor

http://en.wikipedia.org/wiki/Homo_neanderthalensis

<http://www.becominghuman.org/>

Opgave 29.1

In hoeverre wordt *Homo antecessor* als een belangrijke voorloper van de moderne mens in Europa gezien?

Opgave 29.2

Welke mensen hebben gelijktijdig in (zuid)oostelijk Azië gewoond en kunnen dus contact met elkaar hebben gehad?

Opgave 29.3

Welke mensen hebben gelijktijdig in Europa gewoond en is het waarschijnlijk dat er genetische vermenging is opgetreden?

30 - Vaarwel

In dit laatste hoofdstuk staat de verwoestende invloed van de mens op het ecosysteem aarde centraal. Achtergronden daarbij zijn niet meer nodig. Sommige kwamen al ter sprake in de cursus Aarde, Mens en Milieu, andere komen ongetwijfeld elders terug in de studie milieu-natuurwetenschappen.

TERUGKOPPELING

1.1

$2 \times 2,73^\circ\text{K} = 5,46^\circ\text{K}$ en $10 \times 2,73^\circ\text{K} = 27,3^\circ\text{K}$

1.2

De CMB, zoals we die op aarde waarnemen, is uit alle richtingen vrijwel even sterk. Dat wil zeggen dat de aarde niet of nauwelijks invloed op deze straling heeft en dat de dichtheid van de materie in het vroege heelal vrijwel egaal verdeeld was. Toch is er enige variatie: (a) verschillen van maximaal 0,3% door 'dipole anisotropy' die te maken hebben met de op relatief kort bij de aarde staande zon en diens beweging ten opzichte van de kosmische achtergrondstraling, en (b) verschillen in temperatuur van maximaal 0,01% die wijzen op dichtheidsverschillen in het heelal (bijvoorbeeld de aanwezigheid van het melkwegstelsel).

2.1

Een A.E. is gelijk aan de gemiddelde afstand tussen zon en aarde = 150×10^6 km, i.e. $1,5 \cdot 10^{11}$ m.

2.2

Pluto ligt 39,5 A.E. van de zon

2.3

Gewone planeten moeten aan drie voorwaarden voldoen: (a) een baan hebben om de zon, (b) voldoende zwaartekracht bezitten om een bolvorm aan te nemen, en (c) voldoende zwaartekracht hebben om de ruimte er omheen vrij te hebben gemaakt van andere objecten. Aan voorwaarde (c) is niet voldaan omdat Pluto omringd wordt door bevroren objecten uit de 'Kuiper belt'. Pluto wordt daarom thans beschouwd als een dwergplaneet, net als Ceres (die zich in een baan tussen Mars en Jupiter om de zon beweegt in de 'Asteroiden belt') en Xena (evenals Pluto in de 'Kuiper belt').

2.4

De 'wolk van Oort' bevat miljarden ijsachtige objecten die een baan rond de zon beschrijven tot op een afstand van 200 000 A.E. De banen van deze objecten kunnen worden verstoord door passerende sterren. Sommige van de objecten uit de 'wolk van Oort' kunnen daarbij worden 'geparkeerd' in de 'Kuiper gordel' die zich veel dichterbij de zon bevindt (30-50 A.E.).

3.1

De 'witte dwergen' (white dwarfs – type Ia) zijn het meest helder, hebben geen waterstof en stralen in korte tijd bijna alleen zichtbaar licht uit (maximaal gedurende ongeveer een maand). De 'zwarte sterren' (type II) zijn minder helder, hebben altijd waterstof en stralen vrij langdurig naast zichtbaar licht ook UV-licht uit (maximaal gedurende enkele maanden).

3.2

Type Ia supernovae ontstaan bij dubbelsterren, waarvan de één een 'witte dwerg' is en de andere een 'rode reus', die beide een baan om een gemeenschappelijk zwaartepunt hebben. De 'witte dwerg' kan daarbij

materie van de 'rode reus' naar zich toetrekken. Bij het overschrijden van een bepaalde kritische massa wordt de zwaartekracht in de 'witte dwerg' zo groot dat de ster implodeert. Daarbij komen kernfusieprocessen op gang en explodeert de ster. Bij het radioactieve verval komt energie vrij. Het hete gas straalt deze energie weer uit in de vorm van licht en andere niet zichtbare elektromagnetische straling.

3.3

Doordat type Ia supernovae pas ontstaan als een bepaalde kritische massa ($1,4 \times$ de massa van de zon) overschreden wordt, is de hoeveelheid elektromagnetische straling die wordt geproduceerd vrijwel altijd hetzelfde. Dat is een zeer waardevol gegeven voor de bepaling van afstanden in het heelal.

3.4

Type II supernovae ontstaan aan het eind van de levenscyclus van een zware ster (ongeveer $8 \times$ de massa van de zon of meer) als de nucleaire brandstof is opgebruikt. Daarbij explodeert de buitenste schil van de ster als gevolg van een implosie van de kern.

3.5

De verbranding van de nucleaire brandstof van een zware ster zorgt voor voldoende tegenkracht voor de zwaartekracht. De tegenkracht van een witte dwerg is kleiner en daardoor implodeert deze eerder.

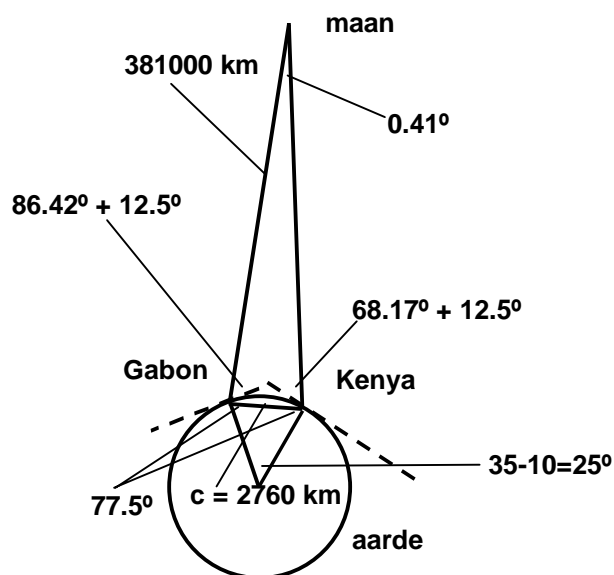
4.1

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ, \text{ dus } \gamma = 180^\circ - 75^\circ - 60^\circ = 45^\circ$$

$$b/\sin 75^\circ = c/\sin 45^\circ$$

$$b = (c \times \sin 75^\circ)/\sin 45^\circ = 20 \times 0,966/0,707 = 27,3 \text{ m}$$

4.2



De afstand tussen beide meetpunten (c) kan worden berekend aan de hand van de driehoek die tussen beide meetpunten en het middelpunt van de aarde wordt gevormd. De hoek bij dat middelpunt is $35 - 10 = 25^\circ$. De twee andere hoeken zijn $(180 - 25)/2 = 77,5^\circ$. Dat wil zeggen dat

de hoek tussen de verbindingslijn en de horizon op beide locaties gelijk is aan $90 - 77,5 = 12,5^\circ$. De lengte van de verbindingslijn c is nu $6370 \times \sin 25^\circ / \sin 77,5^\circ = 2760$ km. De hoek vanaf de maan tussen beide meetpunten is gelijk aan $180^\circ - (86,42^\circ + 12,5^\circ) - (68,17^\circ + 12,5^\circ) = 0,41^\circ$. De afstand tussen het meetpunt in Gabon en de maan is dan $2760 \times \sin 80,67^\circ / \sin 0,41^\circ = 381\,000$ km.

4.3

De kracht van de aarde op de bol van 1 kg =
 $6,67 \times 10^{-11} \times 1 \times 5,98 \times 10^{24} / (6,37 \times 10^6)^2 = 9,8$ N

(deze kracht is natuurlijk ook te berekenen met de formule:

$$F = m \times g = 1 \times 9,81)$$

De kracht van de bol van 100 kg op de bol van 1 kg =

$$6,67 \times 10^{-11} \times 1 \times 100 / 0,5^2 = 2,7 \times 10^{-8}$$
 N

In beide berekeningen zit de gravitatieconstante G . Als je die niet zou kennen, kan met dit experiment wel een ruwe schatting van het gewicht van de aarde worden gemaakt. Immers, als de twee bollen elk aan een lange draad zijn opgehangen, moeten ze iets naar elkaar toe bewegen. Erg nauwkeurig kan die schatting echter niet zijn, want de zwaartekracht van de aarde is ongeveer 360 miljoen keer zo groot als de kracht tussen beide bollen!

5.1

Vanwege de beschikbaarheid. De oude (Caledonische) gebergtevorming in Europa vond plaats in het Siluur onder andere in Schotland en Noorwegen. De gebergtevorming in centraal Europa is van veel jongere datum (Boven-Carboon, Jura en Oligoceen). Daarom komen er op de Britse eilanden relatief veel oude geologische lagen aan de oppervlakte.

5.2

Het is duidelijk dat het zeespiegelniveau fors veranderd is gedurende de geschiedenis van de aarde, maar die schommeling wordt beperkt door de hoeveelheid water op aarde en de grootte van de ijskap die op het vaste land kan liggen. Als de gletsjers en het landijs op Groenland en Antarctica zouden smelten, kan het zeespiegelniveau ongeveer 60 m stijgen, onvoldoende om alle bergen met mariene fossielen te overspoelen. In de laatste ijstijd lag de zeespiegel ongeveer 130 m lager dan nu. De amplitude ligt dus in de orde van zo'n 200 m. Een tweede argument tegen een gelijkblijvend reliëf is dat afzettingen in horizontale lagen ontstonden, maar dat de lagen in gebergten juist sterk geplooid kunnen zijn.

5.3

Door gebergtevorming kunnen er lagen van vóór die gebeurtenis plooiën en aan de oppervlakte komen. De lagen die na de gebergtevorming ontstaan, liggen in het algemeen horizontaal en worden over elkaar afgezet. Alleen de jongste lagen daarvan kunnen aan een ongestoorde oppervlakte worden teruggevonden. In een gestoord oppervlak, bijvoorbeeld als het gebied door een rivier wordt doorsneden, kunnen ook andere lagen van de gebergtevorming aan de oppervlakte komen.

6.1

Iguanodon: hoofdgroep Ornithischia, subgroep Orthopoda, tot 10 m lang, herbivoor, beneden-Krijt (140-110 miljoen jaar geleden) in België, Engeland, Duitsland, Spanje en de Verenigde Staten.

Megalosaurus: hoofdgroep Saurischia, subgroep Theropoda, tot 9 m lang, carnivoor, midden-Jura (170-155 miljoen jaar geleden) in Engeland.

6.2

De Ornithischia en de Saurischia worden onderscheiden door de vorm van hun bekken. Bij de Ornithischia heeft het bekken de vorm die ook kenmerkend is voor vogels, en bij de Saurischia heeft het de vorm die ook karakteristiek is voor hagedissen. Het bekken bestaat uit drie botten: ilium (darmbeen), ischium (zitbeen) en pubis (schaambeen). Bij de Ornithischia wijst het schaambeen naar achteren, evenwijdig aan het zitbeen. Bij de Saurischia wijst het schaambeen naar beneden en naar voren onder een hoek met het zitbeen.

6.3

Taxonomen zijn het zelden volledig met elkaar eens. Ook over deze soorten en hun taxonomische positie bestaat geen eenstemmigheid. Een tamelijk gangbare opvatting is de volgende. De *Ichthyosaurus*, een in het water levend reptiel met een lichaamsvorm die veel lijkt op die van een vis en die van een dolfijn, behoort tot de Ichthyopterygidae, een subgroep van de Diapsida (de groep waartoe reptielen en vogels behoren) naast bijvoorbeeld de Archosauria (waartoe de dinosauriers, krokodillen en vogels behoren). De *Plesiosaurus* was een reptiel met een erg lange nek en twee paar roeipootachtige ledematen, die in en wellicht soms ook nabij het water leefde. Deze soort behoort tot de Sauropterygia, ook een subgroep van de Diapsida.

7.1

Volgens de wet van Avogadro bevatten dezelfde volumes van verschillende gassen van dezelfde temperatuur en druk evenveel moleculen.

$$V = RT/p = 8,314 \times 273 / 101,325 = 22,4 \text{ l per mol}$$

$$\text{immers: } J K^{-1} \text{ mol}^{-1} \times K / kPa =$$

$$Nm K^{-1} \text{ mol}^{-1} \times K \times N^{-1} \times m^2 \times 10^{-3} =$$

$$m^3 \times 10^{-3} \times \text{mol}^{-1} = \text{liter per mol}$$

7.2

$$pV = \text{constant}$$

$$\text{dus } p_1V_1 = p_2V_2$$

$$1 \times 1 = p_2 \times 0,6$$

$$p_2 = 1/0,6 = 1,67 \text{ atm} = 169 \text{ kPa}$$

7.3

$$pV/T = \text{constant}$$

$$\text{dus } p_1V_1/T_1 = p_2V_2/T_2$$

$$1 \times 1/293 = p_2 \times 1/333$$

$$p_2 = 333/293 = 1,14 \text{ atm} = 115 \text{ kPa}$$

7.4

De molecuulmassa is voor propaan 44 en voor butaan 58. Voor stikstof (N₂) en zuurstof (O₂) in de atmosfeer is deze respectievelijk 28 en 32. Propaan en butaan zijn aanzienlijk zwaarder en blijven daarom laag

hangen. Iemand die met een lekkende gasfles in de kuip van een schip ligt te slapen, loopt zo gevaar om te stikken. Koolstofdioxide is ook zwaarder (44) dan stikstof en zuurstof. Het blijft daarom vrij laag bij de grond hangen en diffundeert weinig naar de hogere luchtlagen.

8.1

Bij het uitstromen, vallen en in de turbine ontstaat wrijving die wordt omgezet in warmte. Dat is ook energie, waar evengoed rekening mee gehouden moet worden.

8.2

Bij het bevriezen wordt warmte onttrokken aan de bak met water. De temperatuur (en de entropie) van de omgeving neemt daardoor toe met tenminste dezelfde hoeveelheid als de afname in de bak met water. Denk bijvoorbeeld aan een diepvrieskast die binnen de temperatuur verlaagt, maar buiten de temperatuur verhoogt.

8.3

$$E = mc^2$$

$$E = 0,001 \times 0,00091 \text{ kg} \times (3,00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2 = 8,2 \times 10^{10} \text{ J (kgm}^2\text{s}^{-2}\text{)}$$

9.1

$$\lambda = h/mv$$

$$\text{dus } \lambda v = h/m = 6,62 \times 10^{-34} \text{ Js} / 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg} = 7,27 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$$

$$\text{immers } \text{J} = \text{m}^2\text{kgs}^{-2}$$

9.2

$$\lambda = 7,27 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1} / 1 \text{ ms}^{-1} = 0,727 \text{ mm}$$

9.3

$$E = hc/\lambda$$

$$\text{dus } E = 6,62 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3,00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} / 750 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$= 2,65 \times 10^{-19} \text{ J}$$

10.1

$$t = -\ln 0,22 \times 8270 = 12 \text{ 500 jaar}$$

10.2

Hieronder vallen natuurlijk allereerst de diepzeeorganismen en sommige organismen die in de bodem leven. Ook gaat het hier om organismen die hun koolstof geheel of gedeeltelijk betrekken uit afzettingen die in de geologische geschiedenis hebben plaatsgevonden, bijvoorbeeld schelpdieren die in een baai met een oude afzetting van calciumcarbonaat (CaCO_3) leven.

10.3

Er is variatie in kosmische straling waardoor er variatie zal zijn in de vorming van ^{14}C . De concentratie kan verder worden beïnvloed door CO_2 -productie bij vulkaanuitbarstingen en door de CO_2 die ontstaat bij verbranding van steenkool, aardolie en aardgas.

11.1

Een proton bestaat uit twee 'up' quarks, elk met een positieve lading gelijk aan $2/3 e$, en één 'down' quark met een negatieve lading van $1/3 e$, samen dus een positieve lading van $+1 e$. Een neutron bestaat uit één

'up' quark met een positieve lading van $2/3 e$, en twee 'down' quarks, elk met een negatieve lading van $1/3 e$, samen dus neutraal. Een elektron in het klassieke systeem is homolog aan het lepton met de naam elektron en een lading van $-1 e$.

11.2

Het neutron gaat over in een proton. Daarbij wordt één elektron (met een lading van $-1 e$) en één elektron antineutrino (zonder lading) gevormd. Bovendien wordt één van de 'down' quarks omgezet in een 'up' quark, waarbij de lading verandert van $-1/3 e$ naar $+2/3 e$ (een toename van $+1 e$).

12.1

Langs het zuiden van Europa loopt de grens tussen de Eurazische plaat en de Afrikaanse plaat. Tegen dat grensvlak liggen nog drie kleine platen: de Adriatische plaat met het grootste deel van Italië, de Ageïsche plaat met Griekenland en de Turkse plaat. Ten westen van Europa, midden door IJsland, loopt de grens tussen de Eurazische plaat en de Noord-Amerikaanse plaat.

12.2

De sterkste verplaatsing is te vinden ten westen van Zuid-Amerika, tussen de Nazcaplaat en de Pacifische plaat (tot 18 cm per jaar). Beide platen schuiven uit elkaar en daarbij ontstaat een scheidingsrug, die daar de Oostpacifische Drempel heet.

12.3

Afrika en Zuid-Amerika zijn tijdens de Jura (135 miljoen jaar geleden) of iets later uit elkaar gegaan. De dinosauriërs waren toen nog niet uitgestorven, de eerste vogels en de eerste zoogdieren waren er al wel.

13.1

De inslag van de Mansonkrater vond 74 miljoen jaar geleden plaats. Dat was 9 miljoen jaar voor de KT-grens. Dinosauriërs waren toen zeker nog niet uitgestorven.

13.2

Het kleilaagje met iridium is afkomstig van buitenaardse oorsprong. De meteoriet verdampte tijdens de inslag door de extreem hoge temperatuur en druk en het materiaal is via de atmosfeer over de gehele aarde verspreid. Tektiet is afkomstig van het aardse materiaal rond de inslag. De glasbolletjes zijn ontstaan uit gesmolten kwarts. Omdat ze klein zijn, konden ze zich vrij ver verspreiden, tot over het grootste deel van Noord-Amerika. De wat grotere brokjes zijn wat minder ver gekomen (tot vele honderden kilometers), en de grote brokken nog minder ver (tot enkele honderden kilometers). Dit laatste materiaal is vooral ten noordwesten van de inslagkrater afgezet, in het verlengde van de richting waarin de meteoriet de aarde trof.

13.3

De uitbarsting van de Deccan Traps vond ook plaats rond de KT-grens, startte wat eerder dan de meteorietinslag op Yucatán, en duurde voort tot na de inslag. Het is – uit het fossielenarchief – nog niet duidelijk hoe plotseling het uitsterven van soorten is verlopen. Verondersteld wordt dat de meteorietinslag de potentie had om heel veel leven te vernietigen,

maar er kan niet worden uitgesloten dat er al heel veel soorten waren uitgestorven als gevolg van de vulkanische activiteit op het Deccan Plateau. Beide verklaringen sluiten elkaar dus niet uit.

14.1

	dikte/straal	fase	temperatuur	druk
korst	35 km	vast	-50-900° C	1 – 1000 atm
mantel	2900 km	overwegend vast	500-4000° C	$\pm 1 \times 10^6$ atm
buitenste kern	2300 km	vloeibaar	$\pm 5000^\circ$ C	$\pm 2 \times 10^6$ atm
binnenste kern	1200 km	vast	$\pm 6000^\circ$ C	$\pm 3 \times 10^6$ atm

14.2

	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Ni
korst	3%	3%	8%	28%	2%	4%	5%	-
mantel	-	38%	2%	22%	-	2%	6%	
buitenste kern	-	-	-	-	-	-	+++	++
binnenste kern	-	-	-	-	-	-	++++	

14.3

	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Ni
atoommassa	23	24	27	28	39	40	56	59
dichtheid	1,0	1,7	2,7	2,3	0,9	1,6	7,9	8,9

Als alleen naar de atoommassa wordt gekeken, klopt de verdeling in grote lijnen. Magnesium zou dan vooral in de korst moeten zitten, silicium, kalium en calcium vooral in de mantel, en ijzer zou gemiddeld dieper in de kern moeten zitten dan nikkel. Als de dichtheid erbij wordt betrokken, zijn de waarden voor silicium, kalium en calcium wel in overeenstemming met de verwachting, maar magnesium gedraagt zich vergeleken met silicium niet volgens de verwachting en datzelfde geldt voor de verdeling ijzer/nikkel over de binnenste en buitenste kern.

14.4

De verdelingen die afwijken van de verwachting, kunnen veroorzaakt zijn door diverse factoren. De elementen kunnen bijvoorbeeld heel verschillend reageren op de extreme temperatuur en druk. Ze kunnen ook verbindingen aangaan met andere elementen die wel een hoge massa hebben. Tenslotte kunnen er in de kern door kernsplijting lichtere elementen (wellicht magnesium) gevormd worden. Het is nog niet duidelijk welke verklaring juist is.

15.1

De twee belangrijkste factoren zijn de hoogte van de rookpluim en het volume van het materiaal dat wordt uitgestoten. Voor een uitbarsting met $VEI \geq 5$ geldt dat de rookpluim meer dan 25 km hoog is en de hoeveelheid uitgestoten materiaal minstens 1 km^3 bedraagt. Dergelijke uitbarstingen komen tamelijk zelden voor, één per ongeveer 100 jaar, en het meest recente voorbeeld is de uitbarsting van Mount St Helens in 1981.

15.2

Tot 10 000 jaar geleden:

Tambora, Indonesië, 1815, VEI = 7, 150 km³ materiaal (92 000 doden)

Kikai, Japan, 6300 jaar geleden, VEI = 7, 150 km³ materiaal

Baitoushan, China, 1050, VEI = 7, 150 km³ materiaal

Crater Lake, Oregon USA, 6850 jaar geleden, VEI = 6-7, 50 km³ materiaal

Grootste erupties:

Yellowstone, Idaho USA, 2,2 miljoen jaar geleden, VEI = 8, 2500 km³ materiaal

Toba, Indonesië, 74 000 jaar geleden, VEI = 8, 2800 km³ materiaal

Deccan Traps, India, 60-65 miljoen jaar geleden, VEI = 8+, 512 000 km³ materiaal

15.3

Vrijwel alle vulkanische activiteit wordt gevonden in de buurt van de grenzen tussen lithosferische platen, vooral op plaatsen waar meer dan twee platen ten opzichte van elkaar bewegen:

- In Europa (5 erupties) op de grens van de Eurazische en Afrikaanse plaat, bij de kleinere Adriatische en Egeïsche platen.
- In Nieuw Zeeland (17 erupties) op de grens van de Indo-Australische plaat en de Pacifische plaat.
- In Nieuw Guinea en Melanesië (9 erupties) op een conglomeraat van kleine platen op de grens van de Indo-Australische plaat en de Pacifische plaat.
- In Indonesië (8 erupties) op het grensvlak van de Indo-Australische en Chinese plaat en in het gebied waar de Chinese, Filipijnse en Pacifische plaat samenkomen.
- In de Filippijnen (1 eruptie) op de grens van de Filippijnse en Chinese plaat.
- In Japan (27 erupties) op het grensvlak van de Chinese plaat en de Pacifische plaat, met invloed van de Filippijnse en de Noord-Amerikaanse plaat.
- Verder naar het noorden, langs de Koerillen en Kamchatka (28 erupties) op een ingewikkeld grensvlak tussen de Noord-Amerikaanse en Pacifische plaat.
- In de Verenigde Staten (37 erupties) vooral langs de grens van de Noord-Amerikaanse en Pacifische plaat, maar Idaho en Nieuw Mexico (totaal 10 erupties) lagen ver van deze grens. De 2 erupties in Canada waren wel bij dat grensvlak.
- In Mexico en Midden-Amerika (10 erupties) bij de grenzen tussen de Pacifische, Cocos, Noord-Amerikaanse en Caribische platen.
- In Zuid-Amerika (12 erupties) vooral op het grensvlak van de Zuid-Amerikaanse en de Nazcaplaaat, wellicht met een invloed van de Cocosplaat.
- In IJsland (20 erupties) op de grens van de Noord-Amerikaanse en Eurazische plaat.
- In de Atlantische Oceaan (3 erupties, Canarische eilanden en Azoren) ook nabij grensvlakken.

16.1

Mercurius heeft vrijwel geen atmosfeer. Op Venus bestaat de atmosfeer uit veel CO₂ en N₂ met een luchtdruk van 90 atm. Op Aarde bestaat de atmosfeer uit N₂ en O₂ met een luchtdruk van 1 atm. Op Mars is de atmosfeer van CO₂, N₂ en Ar erg dun met een luchtdruk van 0,01 atm.

Op Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus zijn de gassen (groten)deels vast of vloeibaar en is de luchtdruk hoog. Op de eerste twee overheersen H_2 en He, op de laatste twee is ook CH_4 aanwezig. De hoeveelheid zonlicht per oppervlakte-eenheid is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot de zon.

De belangrijkste cijfers staan in de tabel: *afstand* tot de zon is in A.E., *zon* de hoeveelheid straling per oppervlakte-eenheid vergeleken met de aarde, *temp* de minimum- en maximumtemperatuur, *g* de versnelling van de zwaartekracht (ms^{-2}), *dag* het aantal uren per omwenteling om de as (negatief bij een tegengestelde draairichting) en *jaar* het aantal dagen per complete baan om de zon.

	afstand	zon	temp	g	dag	jaar
Mercurius	0,39	6,57	-173/427	3,7	1407	88
Venus	0,72	1,93	462	8,9	-5832	225
Aarde	1,00	1,00	-80/58	9,8	24	365
Mars	1,52	0,43	-87/-5	3,7	25	687
Jupiter	5,20	0,04	-148	20,9	10	4331
Saturnus	9,94	0,01	-178	10,4	11	10 756
Uranus	19,19	0,003	-216	8,4	-17	30 687
Neptunus	30,07	0,001	-214	10,7	16	60 190

16.2

Het oppervlak van Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus is veel te koud. Op Mercurius zijn extreem grote wisselingen in temperatuur. Op Venus is de temperatuur veel te hoog. De druk is ook hoog, maar zeker niet hoger dan de druk op de bodem van de oceaan op aarde. Mars komt het dichtst bij de omstandigheden waarbij leven mogelijk is. Het oppervlak van de planeet is wat te koud, maar onder dat oppervlak kunnen de omstandigheden beter zijn. Een lagere versnelling van de zwaartekracht is geen probleem, de daglengte is bijna hetzelfde en de jaaromlooptijd ligt in dezelfde orde van grootte (bijna 2 ×). De hoeveelheid zonnestraling kan een beperking zijn en de dunne atmosfeer biedt weinig bescherming.

17.1

De waarden kunnen worden berekend met de formules $R = v/f$ en $f = 2\omega \sin\phi$:

breedte	f	R_{lucht}	R_{water}
0°	0	-	-
15°	$3,7 \times 10^{-5} s^{-1}$	270 km	2,70 km
30°	$7,3 \times 10^{-5} s^{-1}$	137 km	1,37 km
45°	$10,3 \times 10^{-5} s^{-1}$	97 km	0,97 km
60°	$12,6 \times 10^{-5} s^{-1}$	79 km	0,79 km
75°	$14,1 \times 10^{-5} s^{-1}$	71 km	0,71 km
90°	$14,6 \times 10^{-5} s^{-1}$	68 km	0,68 km

17.2

De kracht die het gebied met lage luchtdruk uitoefent is veel sterker dan de corioliskrachten. De corioliskrachten trekken de lucht wel opzij, maar de aantrekkende kracht van het 'laag' blijven, overheersen. Daardoor kan de lucht gaan cirkelen in steeds kleinere cirkels tegen de richting van de cirkel die louter door corioliskrachten wordt bepaald. In het 'oog' zal er een sterke kracht omhoog worden uitgeoefend.

17.3

De luchtdruk neemt af naarmate je hoger in de atmosfeer komt, maar in het algemeen zijn omhoog gerichte stromingen zeldzaam. De zuurstof- en stikstofmoleculen in de lucht blijven door de zwaartekracht dicht bij de aarde. Ook moet een omhoog gerichte luchtstroom elders weer gecompenseerd worden met een stroming naar beneden (naar een hogere luchtdruk).

18.1

reservoir	hoeveelheid	verblijftijd
oceanen	$1370 \times 10^{15} \text{ m}^3$	3200 jaar
ijskappen en gletsjers	$29 \times 10^{15} \text{ m}^3$	0,2 – 100 jaar
grondwater	$9,5 \times 10^{15} \text{ m}^3$	0,08 – 0,17 jaar
meren	$0,125 \times 10^{15} \text{ m}^3$	100 – 200 jaar
bodem	$0,065 \times 10^{15} \text{ m}^3$	100 – 10 000 jaar
atmosfeer	$0,013 \times 10^{15} \text{ m}^3$	0,025 jaar
rivieren	$0,0017 \times 10^{15} \text{ m}^3$	0,17 – 0,50 jaar
biosfeer	$0,0006 \times 10^{15} \text{ m}^3$	$\approx 0,01$ jaar

18.2

De maximale stijging is $29 \times 10^{15} \text{ m}^3 / 363 \times 10^{12} \text{ m}^2 = 80 \text{ m}$

De totale stijging is waarschijnlijk iets minder omdat er meer land zal overstromen.

18.3

$$\pi_{\text{zeewater}} = 1000 \times 0,6 \times 8,3 \times 293 = 1,46 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2} (= 14,8 \text{ atm})$$

$$\pi_{\text{lichaamsvloeistof}} = 1000 \times 0,15 \times 8,3 \times 293 = 0,36 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2} (= 3,7 \text{ atm})$$

$$\pi_{\text{zuiver water}} = 1000 \times 0 \times 8,3 \times 293 = 0 \text{ Nm}^{-2} (= 0 \text{ atm})$$

18.4

De kracht die door de waterkolom van 30 cm wordt uitgeoefend op de membraan = $300 \text{ (kg)} \times 9,81 = 2943 \text{ Nm}^{-2}$

De concentratie van de zoutoplossing die nu in de buis zit is dan:

$$c = 2943 / (1000 \times 8,3 \times 293) = 0,0012 \text{ mol l}^{-1}$$

De oorspronkelijke concentratie was 4 maal zo hoog, dus $0,005 \text{ mol l}^{-1}$

19.1

De molecuulmassa van het basisdeel van de aminozuren is:

$$2 \times 12 + 2 \times 16 + 14 + 4 \times 1 = 74, \text{ voor een keten van tien dus } 740$$

Voor de vijf CH_3 -groepen (Alanine) komt daar bij:

$$5 \times (12 + 3) = 75$$

Voor de vijf HSCH_2 -groepen (Cysteïne) komt daar bij:

$$5 \times (1 + 32 + 12 + 2) = 235$$

Er worden 9 moleculen water (covalente bindingen) gevormd:

$$9 \times (2 + 16) = 162$$

De molecuulmassa van de polypeptide is dus:

$$740 + 75 + 235 - 162 = 888$$

19.2

Waterstofbruggen vormen zich zonder dat de samenstelling van een stof te beïnvloeden: er blijven evenveel atomen van alle elementen die deel uitmaken van de verbinding. De molecuulmassa blijft dus hetzelfde.

19.3

Per Cysteïne verdwijnt door de disulfidebrug één H-atoom. Het aminozuur Cysteïne heeft een molecuulmassa van 121. In een polypeptideketen zonder disulfidebruggen wordt dat $121 \cdot 18 = 103$. Wanneer Cysteïne een disulfidebrug aangaat, wordt dat $103 - 1 = 102$. Voor het aminozuur is de verlaging van de molecuulmassa dus minder dan 1%. Voor een eiwitmolecuul zal dat in het algemeen nog veel minder dan 1% zijn.

19.4

Het zwavelatoom in Cysteïne heeft één covalente binding met een H-atoom en één met een C-atoom. De disulfidebrug ontstaat door de reactie tussen twee SH-groepen. Het zwavelatoom in Methionine heeft covalente bindingen met twee C-atomen, en er is dus geen sprake van een SH-groep die kan reageren.

20.1

Inzichten hierover veranderen voortdurend, maar anno 2007 is er nogal wat twijfel over de vraag of de Archea een monofyletische groep vormen (zie o.a. www.tolweb.org).

20.2

Zowel bij de Bacteria als de Archaea komen hyperthermofiele soorten voor. In de vroege fasen van de evolutie van het leven waren de condities voor dergelijke soorten ongetwijfeld aanwezig. De gemeenschappelijke voorouder kan onder die omstandigheden hebben geleefd. Probleem is echter dat RNA en veel eiwitten niet tegen temperaturen van 80-110°C bestand zijn en dat het voor de hand ligt dat de levensvormen onder extreme omstandigheden zijn afgeleid van de levensvormen onder minder extreme omstandigheden, waarbij RNA en de meeste eiwitten wel stabiel zijn. LUCA was echter niet de eerste levensvorm en had al een tamelijk langdurig evolutieproces achter de rug. De hypothese dat alle huidige organismen afstammen van één thermofiele voorouder, kan dus zeker niet verworpen worden.

20.3

Mitochondriën en chloroplasten zijn volgens de meeste onderzoekers ontstaan uit bacterie-achtige organismen die een cel zijn binnengedrongen, en die nu een essentieel onderdeel vormen van het eukaryote organisme. Ze worden via het celplasma van de moeder doorgegeven aan de volgende generatie. Er bestaan hierover ook alternatieve ideeën, waarbij de voorloper van het mitochondrion al zou zijn ontstaan in prokaryote cellen.

20.4

Een monofyletische groep omvat één voorouder met alle afstammelingen (voorbeeld: de vogels). Een parafyletische groep omvat ook één voorouder met alle afstammelingen, behalve groepen afstammelingen die sterk veranderd zijn (voorbeeld: de reptielen, de vogels en zoogdieren die wel van de reptielen afstammen horen daar niet bij). Een polyfyletische groep omvat verschillende evolutionaire lijnen, dus verschillende voorouders met hun afstammelingen, en berust eigenlijk op een vergissing van degene die de groep heeft samengesteld (voorbeeld: de warmbloedige vertebraten = vogels + zoogdieren).

21.1

Trilobieten hebben *frontaal* (aan de voorkant) een grotendeels vergroeid kopstap (cephalon), in het midden een gesegmenteerd lijf (thorax) en *caudaal* (aan het achtereind) een wat meer vergroeid staartstuk (pygidium). Daarmee onderscheiden de trilobieten zich nog niet van de meeste andere arthropoden. Kenmerkend is een verhoging die *dorsaal* (op de rug) midden over het dier van voor naar achteren loopt (axiale lob). De delen aan weerszijden daarvan heten de pleurale lobben. Al deze delen samen vormden aan de rugzijde een hard schild, dat in de meeste fossielen herkenbaar is. Daarnaast hadden trilobieten ook een flink aantal poten (zoals bijvoorbeeld pissebedden) en voelsprieten.

21.2

Er worden 8 tot 10 ordes onderscheiden: Agnostida, Redlichiida, Corynexochida, Ptychopariida, Phacopida, Proetida, Lichida, Asaphida (tolweb) en sinds 2002 ook nog de Harpetida, die daarvoor één geheel vormde met de Ptychopariida. Naast de Lichida wordt soms ook nog de orde Odontopleurida onderscheiden. De Proetida overleefden tot in het Perm. Vanuit de Ptychopariida worden verscheidene aftakkingen verondersteld, namelijk naar de Asaphida, Harpetida en Proetida. Het is daarom geen monofyletische groep, maar een parafyletische groep.

21.3

Trilobieten zijn relatief veel in het fossielenarchief aanwezig omdat het dikke harde rugpantser lang bewaard blijft en daarom een duidelijke afdruk in het sediment achterlaat. Daarnaast kropen sommige trilobieten in de bodem, en verhoogden ook daarmee de kans op conservering.

21.4

In Burgess Shale kwamen modderlawines voor waardoor diverse malen vrijwel de gehele mariene bodemfauna levend begraven werd. Onder die omstandigheden konden ook afdrukken van soorten zonder dikke harde delen goed bewaard blijven.

22.1

Een eerste probleem was de stevigheid van het skelet. Vissen leven in een omgeving waarin ze nauwelijks de invloed van de zwaartekracht ondervinden, maar voor het leven op land is de stevigheid van de constructie en het draagvermogen van de ledematen van groot belang. Ten tweede moet bij een overstap naar het land op een geheel andere manier zuurstof worden verkregen. Verreweg de meeste vissen halen zuurstof met hun kieuwen (en huid) uit het water. Bij de landvertebraten is de zwemblaas veranderd tot long.

Ten derde moet bij een volledige overstap naar het land de voortplanting ingrijpend worden aangepast. Bij vissen worden de eicellen in het algemeen buiten het lichaam in het water bevrucht. Echte landdieren kunnen zich alleen voortplanten als de eicellen binnen het lichaam worden bevrucht.

22.2

De Amphibia en de Reptiliomorpha (die naast de reptielen ook de vogels en de zoogdieren omvatten) worden allebei beschouwd als een monofyletische groep, waarbij elke groep bestaat uit één gemeenschappelijke voorouder met alle afstammelingen. De

gemeenschappelijke voorouder van deze twee groepen behoort tot de Tetrapoda, een groep die eerder ontstond.

22.3

De Ichthyostega behoort weliswaar tot de Stegocephalen (tolweb), maar is geen reptiel en ook geen amfibie. Deze soort kan zelfs niet tot de tetrapoden worden gerekend. Het is (nog) een vis, waarvan vermoed wordt dat deze in de getijdenzone leefde. De pootachtige ledematen hadden waarschijnlijk een redelijk draagvermogen en zouden het dier in staat hebben gesteld om weer in het water te komen na aanspoelen.

23.1

rijk: Animalia – Bilateria – Deuterostomia – stam: Chordata – Craniata – Vertebrata – Gnatostomata – Sarcopterigii – Stegocephalen – Amniota – Synapsida – Therapsida – klasse: Mammalia – Eutheria – orde: Proboscidea – familie: Elephantidae – geslacht: Loxodontia – soort: africana. Verreweg de meeste tussenniveaus (8) zitten hier tussen stam (Chordata) en klasse (Mammalia). De tussenniveaus geven aan dat er grote evolutionaire veranderingen plaatsvonden, dat er tussen de thans levende groepen van Chordata grote verschillen bestaan en dat er erg veel groepen die de Mammalia met de Chordata verbinden, zijn uitgestorven.

23.2

Nederland legt het accent vooral op ecosystemen. De flora en fauna van Nederland zijn - relatief gezien - niet uitzonderlijk soortenrijk, maar wél karakteristiek. Kenmerkende ecosystemen in ons land zijn estuaria (het Waddengebied en het Deltagebied), duingebieden, laagveenmoerassen, meren, hogere zandgronden (stuwwallen) met bossen en heidegebieden.

23.3

De grote modderkruiper *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) geniet in Nederland bescherming vanwege de Habitatrichtlijn, de Bern-conventie, de 2004 IUCN Red List of Threatened Species, de Flora- en Faunawet, de Doelsoortenlijst en de Rode Lijst Vissen.

24.1

Mitose komt voor bij alle organismen die cellen hebben met een kern, de Eukaryoten. Bij de bacteriën en archaea delen cellen zich ook, maar niet met de voor de mitose kenmerkende kerndeling. Het DNA van deze organismen zit in één cirkelvormig chromosoom.

24.2

De deling die leidt tot de vorming van geslachtscellen heet meiose. Daarbij zijn de dochtercellen niet identiek aan de moedercel omdat het aantal chromosomen gehalveerd wordt bij de meiose.

24.3

De chorda (voorloper van de wervelkolom) ontstaat uit het mesoderm tijdens het neurulastadium, dat volgt op het gastrulastadium. Dat gebeurt doordat de mesoderm laag in drieën wordt gesplitst, twee grote stukken aan weerskanten, de oersegmenten, en één klein middenstuk dat aan de rugzijde overblijft. De neurale buis ontstaat enige tijd later, direct boven de chorda, uit een naar binnen gestulpte plooi van het ectoderm.

25.1

Recombinatie tijdens de vorming van geslachtscellen genereert nieuwe combinaties van genen. Dat is echter niet genoeg, want door natuurlijke selectie kunnen er ook talloze erfelijke eigenschappen verdwijnen. Geheel nieuwe erfelijke eigenschappen ontstaan door mutatie.

25.2

(1) De Galapagoseilanden liggen ver van het vaste land en zijn daarom vrijwel niet te bereiken voor landdieren van het continent. Migranten die de eilanden bereiken, kunnen zich daarom onafhankelijk van de bronpopulatie verder evolueren. Tussen de verschillende eilanden van de Galapagos liggen ook vrij moeilijk te nemen geografische barrières. Als er migranten van het ene eiland op een ander arriveren, kan de nieuwe populatie zich meestal ook onafhankelijk van de oude evolueren. Geografische isolatie is dus een erg belangrijke factor. (2) Daarnaast waren er vrijwel geen echte landvogels op de Galapagos, maar wel allerlei verschillende ecologische mogelijkheden voor dergelijke dieren. Er was dus ook volop gelegenheid voor ecologische specialisatie. (3) Tenslotte zijn de omstandigheden op de Galapagos nogal extreem en sterk wisselend. Daardoor kan de natuurlijke selectie behoorlijk sterk zijn geweest.

25.3

De Galapagosvinken worden ondergebracht in vier genera, die vooral de verschillen in ecologie benadrukken: grondvinken, boomvinken, de 'warbler' vink (warblers zijn kleine zangvogels, zoals de fitis en de tjiftjaf, die vooral van insecten leven) en de vink van het veel noordelijker gelegen Cocos Island. Sommigen vinden dat de soorten zo weinig verschillen dat ze in één genus moeten worden ondergebracht. De vinken verschillen vooral in de vorm en grootte van de snavel, maar tussen soorten kan soms een forse overlap bestaan in de kenmerken van de snavel. Er is meestal vrijwel geen verschil in de overige eigenschappen. Soorten zijn dus erg moeilijk uit elkaar te houden. Tussen de populaties van verschillende soorten die op hetzelfde eiland voorkomen, is het onderscheid meestal wel duidelijk, maar tussen populaties van verschillende soorten die niet op hetzelfde eiland voorkomen, kan het onderscheid veel minder duidelijk zijn. Hybridisatie tussen de soorten is niet ongewoon. Het is dus zelfs niet helemaal duidelijk of er echt sprake is van verschillende soorten, of van een vergevorderd stadium van soortsvorming.

25.4

Verondersteld wordt dat de belangrijkste verschillen tussen de vinkensoorten van de Galapagoseilanden ontstaan zijn doordat verschillende populaties zich gescheiden van elkaar (op verschillende eilanden) onafhankelijk van elkaar ontwikkelden. Dat heet *allopatrische soortsvorming*. In sommige gevallen zijn de ontstane verschillen versterkt nadat de populaties weer bij elkaar waren gekomen.

25.5

Op een klein eiland kan maar een kleine populatie bestaan. Op een klein eiland met sterk wisselende omstandigheden is de overlevingskans voor zo'n populatie vrij klein. De genetische diversiteit in een kleine populatie kan sterk afnemen door genetische drift. Ook daardoor worden de overlevingskansen verkleind. Mutaties die in een kleine populatie

verschijnen, hebben juist wel een vrij grote kans om te blijven. Kleine populaties die overleven, kunnen daarom relatief snel substantieel gaan afwijken van de bronpopulatie.

26.1

DNA komt meestal voor in de vorm van lange ketens in dubbele spiralen, RNA meestal in een enkele en kortere ketens. De hoofdketen van suikers bij DNA bestaat uit desoxyribose, bij RNA uit ribose. Bij DNA zijn daaraan de basen adenine, thymine, guanine en cytosine gekoppeld, bij RNA zijn dat adenine, uracil, guanine en cytosine.

26.2

Een nucleotide is één enkele schakel in een DNA- of RNA-keten. Een nucleotide bestaat uit één suikermolecule (desoxyribose of ribose) met daaraan gekoppelde één base (adenine, thymine/uracil, guanine of cytosine).

26.3

Informatie kan van de ene DNA-keten worden overgedragen op de ander (bij replicatie) doordat adenine alleen een binding aangaat met thymine (en omgekeerd) en guanine alleen met cytosine (en omgekeerd). Informatieoverdracht van een DNA-keten naar een RNA-keten verloopt op dezelfde wijze, behalve dat uracil in de RNA-keten de plaats van thymine in de DNA-keten heeft ingenomen.

26.4

De basen worden met één letter aangegeven: adenine (A), uracil (U), guanine (G) en cytosine (C). Als beginpunt voor een keten worden de codons AUG en GUG gebruikt en voor het aminozuur lysine de codons AAA en AAG.

27.1

Op de grootste tijdschaal komen de koude perioden die tientallen miljoenen jaren duurden. Daartoe hoort de huidige periode, die ongeveer 40 miljoen jaar geleden begon. In de perioden van 260-350, 430-460 en 600-800 miljoen jaar geleden zijn er periodiek ook grote ijskappen geweest. Vooral tijdens de eerste periode is het extreem koud geweest op aarde. Voor de ijstijden van het Pleistoceen is de tijdschaal veel kleiner. De intervallen liggen tussen de 40 en 100 duizend jaar en de perioden met ijskappen duurden enkele tienduizenden jaren. Op nog kleinere schaal liggen perioden zoals de Kleine IJstijd die van ongeveer 1400 tot 1800 duurde, en waarin de temperatuur enkele graden lager was dan daarvoor en daarna.

27.2

Ten eerste, de *excentriciteit* van de zon: de ellips van de baan van de aarde wordt meer of minder uitgerekt. De periode hiervan is 100 000 jaar.

Ten tweede, de *schuine stand van de aardas*: de hoek van de evenaar met de baan van de aarde om de zon is nu $23,5^\circ$, maar kan wisselen tussen $21,5^\circ$ en $24,5^\circ$. De periode hiervan is 41 000 jaar.

Ten derde, de *precessie van de aardas*: dat is een tollende beweging, waarbij de richting van de aardas wisselt van richting de Poolster tot richting de ster Vega. De periode is 26 000 jaar.

27.3

De *albedo* van de aarde bepaalt hoeveel zonlicht wordt teruggekaatst. De terugkaatsing wordt verhoogd door wolken en sneeuw en verkleind door vegetatie, bijvoorbeeld bossen. Sneeuw die blijft liggen, kan als een positieve terugkoppeling werken: er wordt meer warmte teruggekaatst dan zonder sneeuw, waardoor de kans op nog meer sneeuw toeneemt. Als na een koude periode de temperatuur zo ver toeneemt dat er een uitgebreide vegetatie ontstaat, werkt dat ook als een positieve terugkoppeling: er wordt minder straling teruggekaatst dan in de periode dat er nog sneeuw lag. De hoeveelheid bewolking en neerslag hangt af van de hoeveelheid *open water*. Aan het begin van een koude periode kan hierdoor vrij veel sneeuw vallen. Dit kan als een positieve terugkoppeling werken. Als de koude lang aanhoudt, verdwijnt het open water, kunnen wolkenvorming en sneeuwval afnemen en de terugkoppeling negatief beïnvloeden. *Fijn stof* in de atmosfeer, bijvoorbeeld van een meteorietinslag of een vulkaanuitbarsting, kan ook de terugkaatsing van zonlicht bevorderen en dus leiden tot een temperatuurverlaging.

CO₂ en andere *broeikasgassen* bepalen hoeveel warmte er op aarde wordt vastgehouden. Veel CO₂ in de atmosfeer is geproduceerd bij metabolische processen van levende organismen, maar die productie kan meestal geheel weggenomen worden door fotosynthese. Daarnaast kunnen er door vulkanische activiteit broeikasgassen ontstaan. Een klein deel van de CO₂ uit de atmosfeer verdwijnt door verwerking van gesteenten, zoals graniet. Tijdens perioden met veel sneeuwbedekking stopt dat proces en kan de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer toenemen en als een negatieve terugkoppeling gaan werken, en dus leiden tot een temperatuurverhoging.

28.1

Er is geen overeenstemming over de vraag of *Australopithecus robustus* en *Australopithecus boisei* als aparte soorten moeten worden beschouwd.

28.2

Homo habilis is een erg onduidelijke soort, maar de kans dat het een voorouder zou zijn van *H. erectus* is klein. Ook *H. rudolfensis* is, mede vanwege de geringe hoeveelheid materiaal, geen duidelijke soort en evenmin een duidelijke voorloper van *H. erectus*. Van *H. ergaster* is wat meer materiaal. Er is echter geen eenstemmigheid of *H. ergaster* en *H. erectus* als verschillende soorten moeten worden beschouwd. Het is wel waarschijnlijk dat *H. ergaster* een voorloper is van de latere *H. erectus*.

29.1

Nauwelijks, door veel onderzoekers wordt deze soort niet eens erkend. Anderen gaan ervan uit dat *H. antecessor* als een uitgestorven zijtak van *H. erectus* moet worden beschouwd. Weer anderen beschouwen *H. antecessor* als een voorloper van *H. heidelbergensis* en dus ook van *H. sapiens* en *H. neanderthalensis*.

29.2

Tussen ongeveer 1 miljoen en 80 000 jaar geleden leefden in ieder geval *H. erectus* en *H. floresiensis* naast elkaar in zuidoostelijk Azië. Daarnaast kunnen er natuurlijk nog meer mensachtigen hebben geleefd. *H. erectus* en *H. floresiensis* zouden in die periode contact met elkaar kunnen hebben gehad. Vanaf 80 000 jaar geleden kwam daar ook nog eens *H. sapiens* bij.

Ook deze soort kan daar contact hebben gehad met de andere twee soorten, waarvan *H. erectus* waarschijnlijk als eerste verdween (30 000 jaar geleden) en *H. floresiensis* ten minste tot 18 000 jaar geleden overleefde.

29.3

Vanaf ongeveer 30 000 jaar geleden hebben de Neanderthalers en de Cro-Magnonmensen enkele duizenden jaren samen in Europa gewoond. Ze zouden elkaar daarbij kunnen hebben ontmoet. De analyse van het DNA van de Neanderthalers maakt het waarschijnlijk dat de lijnen van *H. neanderthalensis* en *H. sapiens* ongeveer 500 000 jaar geleden uit elkaar moeten zijn gegaan en dat er daarna geen genetische vermenging heeft plaatsgevonden.