

Onze bouwstenen

Meld je aan voor onze nieuwsbrief om op de hoogte te blijven van
de nieuwste boeken van Ambo|Anthos uitgevers via
www.amboanthos.nl/nieuwsbrief.

Anja Røyne

Onze bouwstenen

Het verhaal van de verborgen materie
die de Aarde en de mens heeft gevormd

Vertaald uit het Noors door
Angélique de Kroon

Ambo|Anthos
Amsterdam

This translation has been published
with the financial support of NORLA



ISBN 978 90 263 5010 8

© 2018 Anja Røyne

Published in agreement with Stilton Literary Agency
© 2020 Nederlandse vertaling Ambo|Anthos uitgevers,

Amsterdam en Angélique de Kroon

Oorspronkelijke titel *Menneskets grunnstoffer*

Oorspronkelijke uitgever Kagge Forlag

Omslagontwerp bij Barbara

Foto auteur © Karen Margrethe Sabro

Verspreiding voor België:

Veen Bosch & Keuning uitgevers nv, Antwerpen

Inhoud

ONZE PRACHTIGE EN RAMPZALIGE RELATIE MET DE PLANEET WAAROP
WE LEVEN 13

DE GESCHIEDENIS VAN DE WERELD EN DE ELEMENTEN IN ZEVEN DAGEN 15

Maandag: de geboorte van het heelal 15

Van dinsdag tot donderdag: sterren worden geboren en sterven 20

Vrijdag: ons zonnestelsel wordt gevormd 20

Zaterdag: het leven begint 23

Zondag: de levende Aarde 27

Een halve seconde voor middernacht: het tijdperk van de beschaving 31

De mensheid en de toekomst 34

GOUD EN GROENE BOSSEN 36

Hoe de aardkorst ons een dienst bewees 37

Het eerste goud 38

Het goud in het riviergruis 38

De mijnen van Roşia Montană 41

Mijnbouw in onze tijd 43

Een giftig aandenken 44

Van gesteente naar metaal 46

Gouden ring van een ton steen 47

Het einde van Roşia Montană 49

Het goud en de beschaving 50

Het verloren goud 51

DE IJZERTIJD IS NOG NIET VOORBIJ 54

- Zonder ijzer heeft ademen geen zin 55
- De ijzertijd in 56
- Het Zweedse ijzer 58
- Van erts naar metaal 60
- Het felbegeerde staal 62
- Het probleem van roest 64
- Kunnen we zonder ijzer komen te zitten? 66
- De ijzertijd uit? 71

KOPER, ALUMINIUM EN TITANIUM – VAN GLOEILAMPEN TOT CYBORGS 74

- Koper in je auto, in je lichaam en in water 75
- De kopermijnen van Røros 77
- Aluminium: rode wolken en witte dennenbomen 79
- Gebruiken wat we al hebben gebruikt 83
- Het titanium uit de Engebø-berg 85
- De cyborgs komen eraan! 88
- De toekomst van de mens-machine 92

CALCIUM EN SILICIUM IN BOTTEN EN BETON 96

- Hard en broos 97
- Boetseren met klei 98
- De rommelige atomen in ruiten 100
- Van algen naar beton 103
- Vulkanische as in het Colosseum 105
- Beton dat de wolken krabt 108
- Is er zand genoeg? 111
- Levende keramiekfabrieken 113

HET MULTITALENT KOOLSTOF – SPIJKERS, RUBBER EN KUNSTSTOF 115

- Natuurrubber en de wonderbaarlijke vulkanisatie 116
- Van hout naar textiel 120
- Plastic gemaakt van leven uit het verleden 122
- Afvaleiland 124
- Waar moet het heen met het plastic? 126
- Plastic na de olie 129

KALIUM, STIKSTOF EN FOSFOR – DE ELEMENTEN DIE VOOR ONZE VOEDING ZORGEN 131

- De reis naar de Dode Zee 131

Hersenvoer 134
Kalium uit water 136
Stikstof uit lucht 138
Fosfor uit rotsen 142
Verdwaalde voedingsstoffen 146
De toekomst van de Dode Zee 147

ZONDER ENERGIE GEBEURT ER NIETS... 149

Energie van de zon 150
Het aanboren van de energievoorraden van de Aarde 151
De samenleving die we ons wensen 152
Energie erin, energie eruit 154
De fossiele samenleving uit 155
Aardwarmte en kernenergie – energie van de geboorte van de Aarde 156
Stroom rechtstreeks van de zon 158
Water dat stroomt, wind die waait 160
De zeldzame aardsoorten 162
Stroom in een stille winter nacht 163
Kobalt in de tank 165
Benzine uit planten 168
Vandaag eten we olie 170

PLAN B 173

Onbepaalde energie – een zon op Aarde 173
Grondstoffen in de ruimte 177
Weg van de Aarde? 181

KUNNEN WE DE AARDE OPGEBRUIKEN? 184

Grenzen aan groei 185
Groei die steeds sneller en sneller gaat 187
De noodzaak van economische groei 189
Kan de economie groeien zonder het gebruik van meer hulpbronnen? 192
Een onmogelijke paradox? 193
De bewoonbare zone 194

DANKWOORD 197

LITERATUURLIJST 199

REGISTER 227

Je bent gemaakt van atomen

Een atoom

bestaat uit

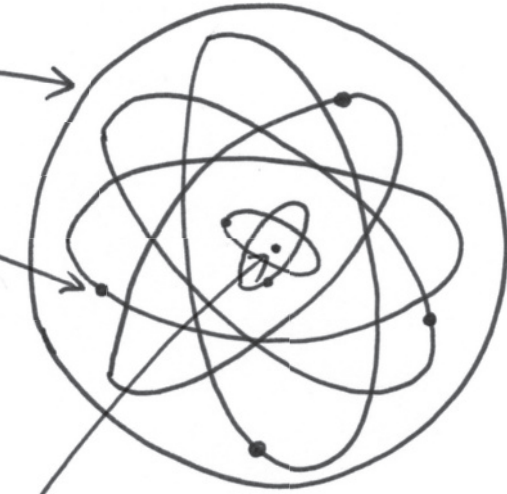
elektronen

die rond een

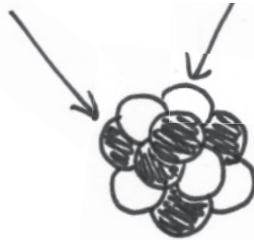
piepkleine

kern

zwermen

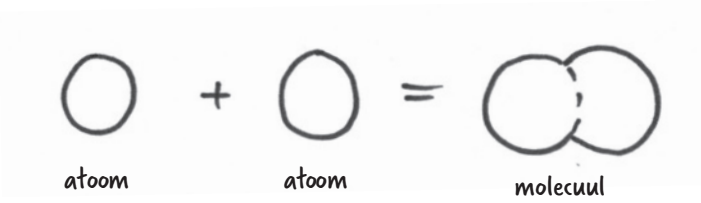


De kern bestaat uit protonen en neutronen

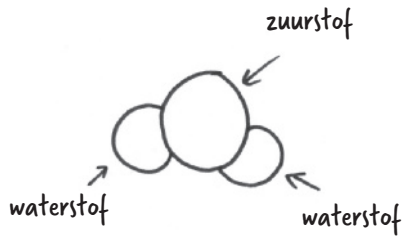


Het aantal protonen bepaalt welk element het is

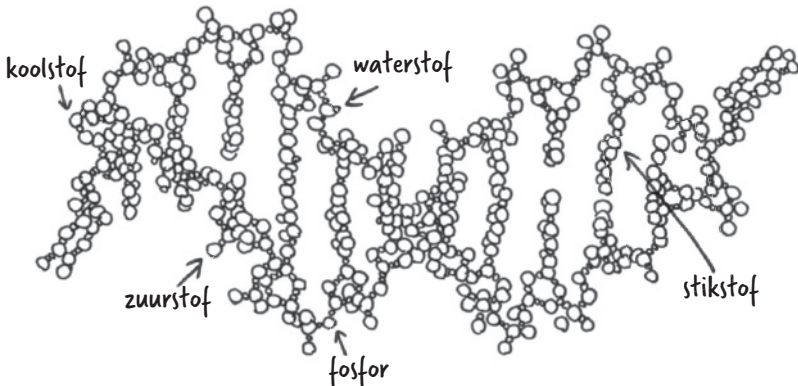
Meerdere atomen bij elkaar vormen een molecuul



Moleculen kunnen klein zijn, zoals bij water



of groot zoals bij DNA



De elementen

in het periodiek systeem

1 H Waterstof																				
3 L Lithium	4 Be Beryllium																			
11 Na Natrium	12 Mg Magnesium																			
19 K Kalium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titaan	23 V Vanadium	24 Cr Chroom	25 Mn Mangaan	26 Fe Ijzer	27 Co Kobalt												
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirkoon	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdeen	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium												
55 Cs Cesium	56 Ba Barium	57-71	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantaal	74 W Wolfram	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium												
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89-103	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium												
<div style="display: flex; align-items: center; margin-left: 100px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;"> 6 ← C ← Koolstof ← </div> <div style="margin-left: 20px;"> ————— aantal protonen ————— symbool ————— naam van het element </div> </div>																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>57 La Lanthaan</td> <td>58 Ce Cerium</td> <td>59 Pr Praseodymium</td> <td>60 Nd Neodymium</td> <td>61 Pm Promethium</td> <td>62 Sm Samarium</td> </tr> <tr> <td>89 Ac Actinium</td> <td>90 Th Thorium</td> <td>91 Pa Protactinium</td> <td>92 U Uraan</td> <td>93 Np Neptunium</td> <td>94 Pu Plutonium</td> </tr> </tbody> </table>									57 La Lanthaan	58 Ce Cerium	59 Pr Praseodymium	60 Nd Neodymium	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uraan	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium
57 La Lanthaan	58 Ce Cerium	59 Pr Praseodymium	60 Nd Neodymium	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium															
89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uraan	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium															

uit het boek

geplaatst en uitgelicht

									2 He Helium
			5 B Boor	6 C Koolstof	7 N Stikstof	8 O Zuurstof	9 F Fluor		10 Ne Neon
			13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Fosfor	16 S Zwavel	17 Cl Chloor		18 Ar Argon
28 Ni Nikkel	29 Cu Koper	30 Zn Zink	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arseen	34 Se Seleen	35 Br Broom		36 Kr Krypton
46 Pd Palladium	47 Ag Zilver	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Tin	51 Sb Antimoon	52 Te Telluur	53 I Jood		54 Xe Xenon
78 Pt Platina	79 Au Goud	80 Hg Kwik	81 Tl Thallium	82 Pb Lood	83 Bi Bismut	84 Po Polonium	85 At Astaat		86 Rn Radon
110 Ds Darmstadium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Nh Nihonium	114 Fl Flerovium	115 Mc Moscovium	116 Lv Livermorium	117 Ts Tenessine		118 Og Oganesson
63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium		71 Lu Lutetium
95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium		103 Lr Lawrencium

Onze prachtige en rampzalige relatie met de planeet waarop we leven

Jij en ik maken beiden deel uit van het leven dat ooit uit onze planeet ontstond. Onze lichamen zijn samengesteld uit atomen die tegelijk met het heelal zijn gevormd. Wanneer mijn kinderen groeien, worden ze opgebouwd uit elementen uit aarde, water, bergen en lucht. Op een zeker moment in de toekomst zullen de atomen in mijn lichaam in naaldbomen, gletsjers en graniet overgaan.

We zijn ook meer dan alleen een lichaam. Bijna net zo belangrijk als mijn vingers zijn de kleding die ik draag, het huis waarin ik woon en het mes dat ik gebruik om mijn brood te snijden. Zonder mijnen en bulldozers om kunstmest en voedsel te produceren, zou je waarschijnlijk nooit zijn geboren.

Al onze producten en het materiaal waarvan ze zijn gemaakt, hebben hun eigen rol in het unieke dat wij mensen samen hebben ontwikkeld, onze beschaving. En ik houd van de beschaving. Ik houd ervan om in een warm huis te wonen en te reizen om nieuwe plekken te bezoeken. Op dit moment kan ik me nauwelijks een bestaan voorstellen zonder dat al de kennis van de wereld op één toetsaanslag verwijderd ligt, ook al ben ik opgegroeid met zowel een encyclopedie in de boekenkast als handgeschreven brieven in de brievenbus.

Elke dag worden er nieuwe ramen, mobiele telefoons en mensen gevormd. Het is vrij verbazingwekkend dat dit gebeurt. Maar waar halen we de bouwstenen voor al deze dingen, het voedsel en de mensen vandaan? Waar is alles van gemaakt? En zal onze planeet ooit zonder deze bouwstenen komen te zitten, zodat alles ophoudt te bestaan?

We hebben het veel over het milieu. Over hoe ons consumeren van invloed is op het water, de bodem en de lucht. We hebben het over het feit dat de soorten in hetzelfde tempo uitsterven als in de tijd dat een enorme meteorieteninslag de dinosaurussen fataal werd. Dat de oceanen vol zitten met zoveel afval dat er zich binnenkort meer plastic in zal bevinden dan er vissen in rondzwemmen. Niet in de laatste plaats hebben we het over het feit dat de steenkool en de olie die we in energiecentrales en auto's verbranden het klimaat veranderen, zodat veel gebieden op Aarde in de nabije toekomst onbewoonbaar zullen worden.

De discussie over de verwoesting van het milieu geeft me vaak een machteloos gevoel. Wat voor rol speel ik zelf eigenlijk in dit geheel? Is het mijn schuld dat de soorten uitsterven? Wat voor wereld laat ik achter voor mijn kinderen? Is er iets wat ik kan doen dat niet alleen maar mijn geweten sust, maar er ook toe leidt dat de wereld zich op een betere manier ontwikkelt? Ik heb dit boek geschreven omdat ik wil dat jij en ik het kunnen hebben over ons eigen bestaan, over het feit dat hoe we producten maken en wat we eten zowel geweldige als desastreuze consequenties heeft. Alleen als we begrijpen waar we het precies over hebben, kunnen we ons op de oplossingen richten die er werkelijk toe doen voor degenen die na ons komen.

De geschiedenis van de wereld en de elementen in zeven dagen

De geschiedenis van de elementen gaat terug tot de geboorte van het heelal. Dit verhaal is lang, bijna onvoorstelbaar lang in verhouding tot het tijdperk van de mens. Daarom zal ik het zo doen als in het scheppingsverhaal en de geschiedenis van de wereld vertellen alsof het zeven dagen betreft.

Hierbij wordt een miljard jaar teruggebracht tot een halve dag, een miljoen jaar tot driekwart minuut en duizend jaar tot vierenveertig honderdste van een seconde. Het is 13,8 miljard jaar geleden dat het universum geboren werd, maar in dit verhaal ontstond de tijd toen de klok twaalf sloeg, in de nacht van zondag op maandag. Terwijl je deze pagina's leest, slaat de klok opnieuw middernacht en is de zondag voorbij.

Maandag: de geboorte van het heelal

Aanvankelijk bestond er geen tijd of ruimte. Hoe en waarom alles precies is begonnen ligt ingewikkeld, maar het startte met een knal. Door deze explosie werd de energie in het pasgeboren heelal alle kanten uit geslingerd. Na deze chaotische start werd het jonge universum geregeerd door de natuurwetten die we kennen uit onze eigen wereld.

Zoals het stof in mijn huis zich, als het maar lang genoeg de

tijd krijgt, tot een stofnest verzamelt, zo begon de energie na verloop van tijd in het heelal samen te klonteren. Deze klonten of deeltjes energie is wat we *massa* noemen: materie, stof, dat wat tastbaar is en waaruit alles wat je potentieel kunt vastpakken en voelen in het heelal is opgebouwd.

Mijn lichaam, mijn bezittingen en de planeet waarop we leven: alles waarmee we ons omringen is opgebouwd uit atomen. Deze atomen zijn samengesteld uit drie soorten deeltjes: protonen, neutronen en elektronen. De protonen en neutronen zitten dicht op elkaar in de kern van het atoom. Het aantal protonen in de kern bepaalt wat voor soort element het atoom is. Als de kern enkele protonen kwijt zou raken of erbij zou krijgen, zou het atoom een ander element worden. In principe zal een atoom evenveel elektronen als protonen hebben, maar de elektronen zwermen rond de buitenkant van de atomen en kunnen worden uitgewisseld tussen atomen onderling in wat we een chemische reactie noemen.

Protonen, neutronen en elektronen zijn ontstaan in de gloeiende soep van energie en massa waaruit het jonge heelal bestond. Protonen en neutronen hechtten zich aan elkaar en werden atoomkernen van de elementen waterstof, helium en lithium. Deze kleinste en lichtste van alle elementen hebben respectievelijk een, twee en drie protonen in hun atoomkern. Tegenwoordig is waterstof een belangrijk bestanddeel van water en van de organische moleculen waaruit levende wezens bestaan. Je lichaam bestaat voor bijna tien procent uit waterstof, en in die zin kom je direct voort uit de geboorte van het heelal.

Zestien seconden na middernacht was het heelal dusdanig afgekoeld dat elektronen zich aan atoomkernen konden hechten zonder meteen weer los te raken. Zo was het voor het eerst mogelijk dat licht zich door het heelal kon bewegen zonder te worden tegengehouden door de hete elektronen. Zo werd het, net

na middernacht, zichtbaar licht in het universum – ook al was er niemand om dit te kunnen zien.

Gedurende de volgende twaalf uur bleef de massa in het heelal samenklonteren. Enorme atoomwolken werden gevormd en voordat de klok 's ochtends drie uur sloeg, werden clusters van dergelijke wolken de allereerste sterrenstelsels. Een van deze sterrenstelsels zou de Melkweg worden, de thuisbasis van de mens. Tegenwoordig is de Melkweg slechts een van de meer dan twee biljoen sterrenstelsels in het universum.

Om zes uur in de ochtend waren enkele van de atoomwolken in de sterrenstelsels zo groot geworden dat ze onder hun eigen gewicht ineens stortten. Zo ontstonden de eerste sterren. In een daarvan, een brok materie die aanzienlijk groter was dan onze eigen zon vandaag de dag is, belandden de waterstofatomen die zouden transformeren tot de zuurstof die je zojuist hebt ingeademd.

Het gewicht van alle atomen eromheen drukte deze waterstofatomen met een enorme kracht tegen elkaar. Dit zorgde er eerst voor dat de elektronen losraakten van de kernen. Vervolgens werd de druk zo intens dat de waterstofkernen samensmolten en nieuwe kernen van helium vormden. Door deze fusie kwamen grote hoeveelheden energie vrij waardoor de klont atomen werd verhit. Zo veranderde deze in een stralende ster. Hetzelfde proces vindt momenteel in onze eigen zon plaats. Het licht dat je ogen treft als je uit het raam kijkt om het uitzicht te bewonderen, is afkomstig van atoomkernen die samensmelten in het binnenste van de zon.

Naarmate de meeste waterstofkernen in helium veranderden, nam het vrijkomen van energie in het binnenste van de ster af. De kern van de ster had niet langer genoeg kracht om weerstand te bieden aan de druk van de materie eromheen. Hij implodeerde. Zo begon een nieuwe fase in het leven van de ster. De implo-

sie dwong de heliumkernen zo dicht op elkaar dat ze bij nieuwe reacties samensmolten. Drie heliumkernen, met elk twee protonen, veranderden in een kern met zes protonen, het zogenaamde koolstof. Vervolgens smolt de koolstofkern samen met een andere heliumkern en vormden ze een kern van acht protonen. Dit is zuurstof, en de atoomkern ervan bevindt zich op dit moment in een zuurstofatoom in een rode bloedcel die op weg is naar je hersenen.

Binnen in de ster ging het proces van het samensmelten van atoomkernen tot steeds zwaardere elementen door. Zesentachtig procent van je lichaam bestaat uit koolstof, stikstof en zuurstof, die tijdens deze fase werden gevormd. Hier op Aarde is de druk te laag om dergelijke elementen te creëren, dus we kunnen er zeker van zijn dat deze bouwstenen van het lichaam eigenlijk van sterren afkomstig zijn. We bestaan allemaal uit sterrenstof. Daarnaast zijn het ijzer in je bloed, het fosfaat in je skelet, je DNA, het aluminium in je mobiele telefoon en het zout dat je op je eten strooit (zout bestaat uit natrium en chloor) in deze fase gemaakt.

Na een paar minuten in onze geschiedenis van een week was het leven van de ster voorbij en deze eindigde met een explosie die zo spectaculair was dat hij de naam supernova kreeg. Bij deze explosie werden elementen gevormd die zelfs zwaarder zijn dan ijzer, waaronder nikkel, koper en zink. De elektriciteitskabels in je huis zijn gemaakt van materiaal uit een supernova.

De restanten van de explosie, de materie die niet de ruimte in werd geslingerd, stortten ineen en werden een neutronenster. In de neutronenster zijn alle atoomkernen samengesmolten tot een massieve klont ter grootte van een grote stad – ongeveer tien kilometer in diameter – en deze is eigenlijk een reusachtige atoomkern, ook al noemen we hem geen element. Er zijn ongeveer een miljard neutronensterren alleen al hier in ons eigen

sterrenstelsel, maar omdat ze klein en koud zijn in vergelijking met de andere sterren, is het niet zo eenvoudig om ze te kunnen zien.

Als ik bedenk hoeveel ruimte er in het heelal is, en hoe klein de neutronensterren zijn, vind ik het volgende dat gebeurde oneindig onwaarschijnlijk klinken. Toch weten we dat het gebeurd moet zijn. Op een bepaald moment in de loop van de eerste dagen van het universum kwamen twee neutronensterren in botsing. Hierbij werden goud, zilver, platina, uranium en een grote verscheidenheid aan andere elementen gevormd die zo zwaar zijn dat ze alleen in dergelijke extreme omstandigheden kunnen ontstaan.

De pasgeboren elementen werden de ruimte in geslingerd en vermengden zich met de wolken van stof en atomen in de Melkweg.

Dat is hoe de elementen ontstonden, op de eerste van de zeven dagen. In de ruimte worden nog steeds elementen gecreëerd. Voortdurend worden sterren geboren en sterven ze, exploderen ze of komen ze in botsing. Maar hier op Aarde zijn de atoomkernen redelijk constant. Alleen door middel van radioactieve processen, waarbij instabiele kernen van uranium en andere zware elementen zich af en toe opsplitsen, worden op onze planeet elementen gecreëerd en vernietigd. Zelfs in de laboratoria van de wetenschap is het bijna onmogelijk om de processen die in het binnenste van de sterren plaatsvinden te reconstrueren. We hebben bijna oneindige mogelijkheden om materialen te creëren door te variëren, en door de elementen te combineren, maar als het gaat om de elementen zelf, moeten we het doen met wat we hebben.

Van dinsdag tot donderdag: sterren worden geboren en sterven

Het heelal ging de drie daaropvolgende dagen op dezelfde voet verder. Sterren werden geboren en stierven. Supernova's zonden drukgolven en materienevels door de ruimte. Omdat waterstof en helium in de sterren tot nieuwe elementen versmolten, daalde de totale hoeveelheid waterstof en helium in het heelal gestaag, terwijl de hoeveelheid zwaardere elementen toenam.

Vrijdag: ons zonnestelsel wordt gevormd

Op vrijdagmiddag om vier uur stierf er een ster in onze regio. De drukgolf van de supernova perste stof en gas samen in de nevel die de zuurstof bevatte die je zojuist hebt ingeademd. Dit zette een kettingreactie in gang waarbij klonten materie zwaar genoeg werden om het stof en het gas in de omgeving aan te trekken. En hoe groter en zwaarder ze werden, hoe meer van hun omgeving ze opzogen. Toen het kwart voor vijf werd, was de nevel in een ster veranderd, met verschillende planeten in een baan om zich heen. Deze ster is onze zon, het centrum van ons zonnestelsel.

Alle planeten bewegen zich in een baan rond een ster. Hoe dichterbij de planeet zich bij de ster bevindt, hoe meer de planeet wordt opgewarmd door de straling van de kernreacties in het binnenste van de ster. In ons zonnestelsel werden de binnenste planeten extreem heet. Tegenwoordig hebben ze een oppervlaktetemperatuur van meer dan 400 graden Celsius. De buitenste planeten zijn koud geworden. De zonnestralen kunnen ze niet warmer maken dan nul graden. De planeten die het verst verwijderd liggen zijn bevroren werelden van ongeveer -200 graden Celsius.

Maar voor één planeet was de afstand tot de zon precies goed. In de bewoonbare zone rond de zon kon de temperatuur van