

DE KOSMOS *en ik*

Dit boek is een uitgave van
Fontaine Uitgevers BV, Hilversum, in samenwerking met
NEMO Science Museum, Amsterdam
www.fontaineuitgevers.nl
www.nemosciencemuseum.nl

Vormgeving: Annelies Dollekamp (www.zilverstermedia.nl)
Redactie: Jet van den Toorn
Illustraties: Geza Dirks (www.geza.nu)

De meeste foto's in dit boek zijn afkomstig van de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA, de Europese ruimtevaartorganisatie ESA, de Europese Zuidelijke Sterrenwacht (ESO), het Space Telescope Science Institute, het Jet Propulsion Laboratory, het deeltjeslaboratorium CERN, het Nationaal instituut voor subatomaire fysica Nikhef, het Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics en Wikimedia Commons.

© 2017 Fontaine Uitgevers BV / Govert Schilling

ISBN 978 90 5956 802 0
NUR 225

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, elektronisch databestand of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoud

Inleiding **6**

DEEL 1. Klein en groot **8**

Hoe groot is jouw wereld? **10**
Waarom zijn sterren en planeten rond? **12**
Klein grut in het zonnestelsel **14**
Hoe groot zijn sterren? **18**
Recordhouders in het heelal **22**
Is het heelal oneindig groot? **24**
Grote en kleine getallen **28**
De legosteentjes van de natuur **30**
Jij komt uit de kosmos **34**

DEEL 2. Heet en koud **36**

Rillen en puffen **38**
Zweten op andere planeten **40**
In de vuurlinie **44**
Hoe heet zijn sterren? **48**
Niet te heet, niet te koud **50**
Speuren naar buitenaards leven **52**
Wat is temperatuur? **56**
Wat is de koudste plek in het heelal? **58**
Hoe heet was de oerknal? **60**

DEEL 3. Dichtbij en ver weg **64**

Zonnestelsel op schaal **66**
Op reis naar Mars **70**
Kosmische boodschappers **74**
Hoe ver staan de sterren? **76**
Afstanden meten in de kosmos **78**
Terugkijken in de tijd **82**
Ver weg en lang geleden **84**
De kosmos op aarde **88**
Op reis naar de sterren **90**

Register **94**



INLEIDING

Vroeger dachten de mensen dat de aarde het middelpunt van het heelal was. Zo ziet het er ook uit: het lijkt alsof de zon, de maan en de sterren om de aarde heen draaien. Tegenwoordig weten we dat onze planeet helemaal niet zo belangrijk is. De aarde is maar een kleine planeet in een baan om de zon. En die zon is maar één van de vele miljarden sterren in het Melkwegstelsel.

Kosmisch gezien ben jij óók niet zo belangrijk. Dat is misschien niet zo leuk om te horen, maar het is wel waar. Het heelal is onvoorstelbaar groot en het bestaat al onvoorstelbaar lang. Jij bent er nog maar net, je woont een tijdje op een piepkleine planeet, ergens in een uithoek van de kosmos, en dan is het alweer voorbij. Veel stelt het allemaal niet voor.

Toch ben jij op de een of andere manier het middelpunt. Het heelal is vele triljoenen keren zo groot als een mens, maar de allerkleinste deeltjes waaruit alles bestaat zijn juist triljoenen keren zo klein. Wij zitten qua afmetingen zo'n beetje in het midden. De temperatuur van de lege ruimte ligt dicht bij het absolute nulpunt, terwijl reuzensterren juist enorm heet zijn. Maar alleen ergens tussen die twee uitersten kan leven bestaan, als de temperatuur precies goed is. En als we het over de kolossale afstanden in het heelal hebben, meten we die natuurlijk vanaf de aarde, dus vanuit onszelf. Ook dan vormen wij het middelpunt.

Dit boek vertelt je van alles over de kosmos, maar het gaat eigenlijk ook over jou. Want jij en ik bestaan uit dezelfde soort deeltjes als verre sterren en planeten. Jij was er niet geweest als de omstandigheden op aarde niet precies goed waren voor het ontstaan van leven. En als je heel ver in de ruimte kijkt, kijk je ook terug in de tijd; zo zie je je eigen voorgeschiedenis.

De kosmos en ik verschijnt tegelijk met de opening van de tentoonstelling *Leven in het heelal* in NEMO Science Museum in Amsterdam. Veel onderwerpen uit het boek komen ook in de tentoonstelling aan bod, en andersom. Als je er nog niet geweest bent, moet je er zeker een keer naartoe. En als je er wél geweest bent, kom je er in dit boek nog veel meer over te weten. Veel leesplezier gewenst!

Govert Schilling
juni 2017

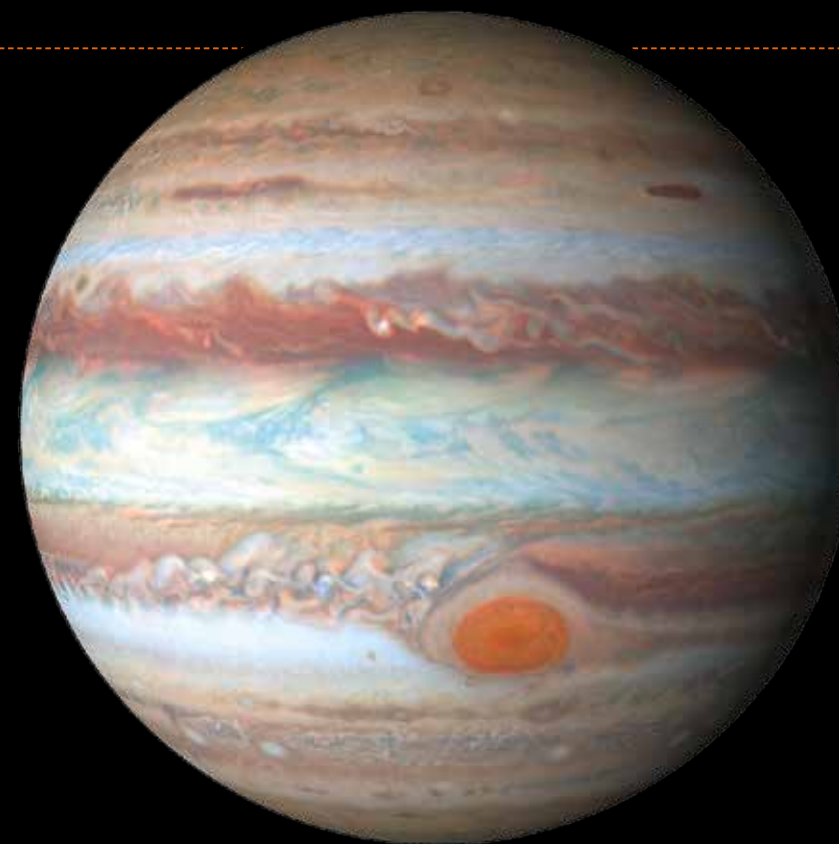


HOE GROOT IS JOUW WERELD?

De aarde is een grote planeet. Zelfs met een vliegtuig ben je al bijna een dag onderweg van Nederland naar Nieuw-Zeeland, aan de andere kant van de wereldbol. Veel mensen hebben nog nooit zo'n verre reis gemaakt. Wat is het verste punt waar jij ooit bent geweest?

De **middellijn** van onze planeet is 12.756 kilometer. De middellijn is de kortste afstand tussen twee punten op aarde die precies tegenover elkaar liggen. Je meet dan dwars door het middelpunt van de aarde heen. De **omtrek** van de aarde, gemeten over het oppervlak, is 40.000 kilometer. Als je een rondje om de aarde wilt fietsen, en je rijdt constant 20 kilometer per uur, ben je bijna drie maanden op pad. Reken maar na.

Je kunt de grootte van de aarde ook aangeven met het **oppervlak**. Dat is maar liefst 510 miljoen vierkante kilometer. Ruim twee derde daarvan is water: zeeën en oceanen. De rest (149 miljoen vierkante kilometer) is land. Dat is altijd nog 3600 keer het oppervlak van Nederland.



Jupiter

Aarde



En het **volume** van de aarde? Dat is iets meer dan één biljoen kubieke kilometer (een biljoen is een miljoen keer een miljoen). Onvoorstelbaar groot. Tenminste, voor een mens zoals jij en ik. Want in het heelal is de aarde eigenlijk maar een kleine planeet. Eén van de vier kleine planeten in ons zonnestelsel. Alleen de planeten Mercurius, Venus en Mars zijn nog wat kleiner dan de aarde.

De reuzenplaneet Jupiter, die is pas écht groot. Jupiters middellijn is ruim elf keer zo groot als die van de aarde: 142.800 kilometer. En als de middellijn elf keer zo groot is, is het oppervlak 121 keer zo groot (11×11), en het volume zelfs 1331 keer zo groot ($11 \times 11 \times 11$). Als Jupiter hol was, zouden er dus meer dan 1300 aardbolletjes in passen.

Is de aarde nou groot of klein? Dat ligt er maar aan hoe je het bekijkt. 'Groot' is dus een relatief begrip.



KLEIN GRUT IN HET ZONNESTELSEL

Het *zonnestelsel* telt acht planeten. Vier kleine (Mercurius, Venus, de aarde en Mars) en vier grote (Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus). Mercurius is de kleinste planeet. Zijn middellijn is 4880 kilometer. De middellijn van de aarde is dus 2,6 keer zo groot. Kun je zelf uitrekenen hoeveel Mercuriusbolletjes er in de aarde passen?

Pluto werd vroeger ook een planeet genoemd. Hij staat nog verder van de zon dan Neptunus. Maar Pluto is nog eens ruim twee keer zo klein als Mercurius. Bovendien draaien er buiten de baan van Neptunus een heleboel van die kleine bevroren ijsballen om de zon. Daarom hebben sterrenkundigen in 2006 afgesproken dat Pluto geen echte planeet is. Het is een *dwerfplaneet*.

Tussen de banen van Mars en Jupiter draait ook een dwerfplaneet om de zon. Die heet Ceres. De middellijn van Ceres is maar 950 kilometer. Toch heeft hij genoeg zwaartekracht om mooi bolvormig te zijn. Ceres is trouwens ook niet alleen. Er zijn nog veel meer van dit soort mini-planetten. Ze worden meestal *planetoïden* genoemd. Sommige zijn enkele tientallen kilometers groot, maar de meeste zijn nog veel kleiner. Die hebben onvoldoende zwaartekracht om vanzelf bolvormig te worden. Het zijn eigenlijk gewoon grote rotsblokken, met allerlei vormen.

Behalve ijsdwergeren (zoals Pluto) en planetoïden (zoals Ceres) draaien er ook nog *kometen* om de zon. Die zijn helemaal piepklein. Een komeet is niet meer dan een brok ijs en gruis van een paar kilometer groot. Als zo'n 'vuile sneeuwbal' in de buurt van de zon komt, begint het ijs te verdampen, en raken er ook stof- en gruisdeeltjes los. De komeet krijgt dan een lange, ijle staart van gas en stof.

IS HET HEELAL ONEINDIG GROOT?

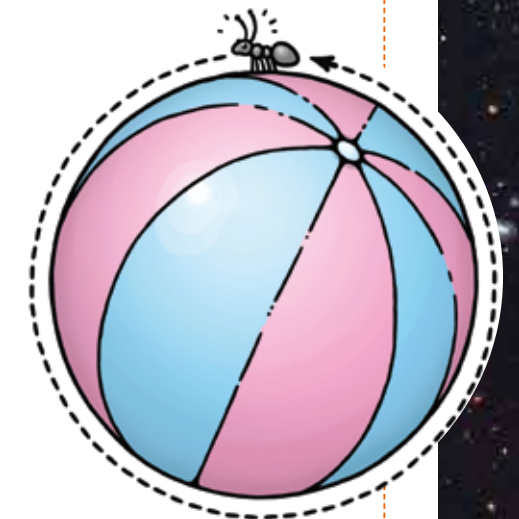
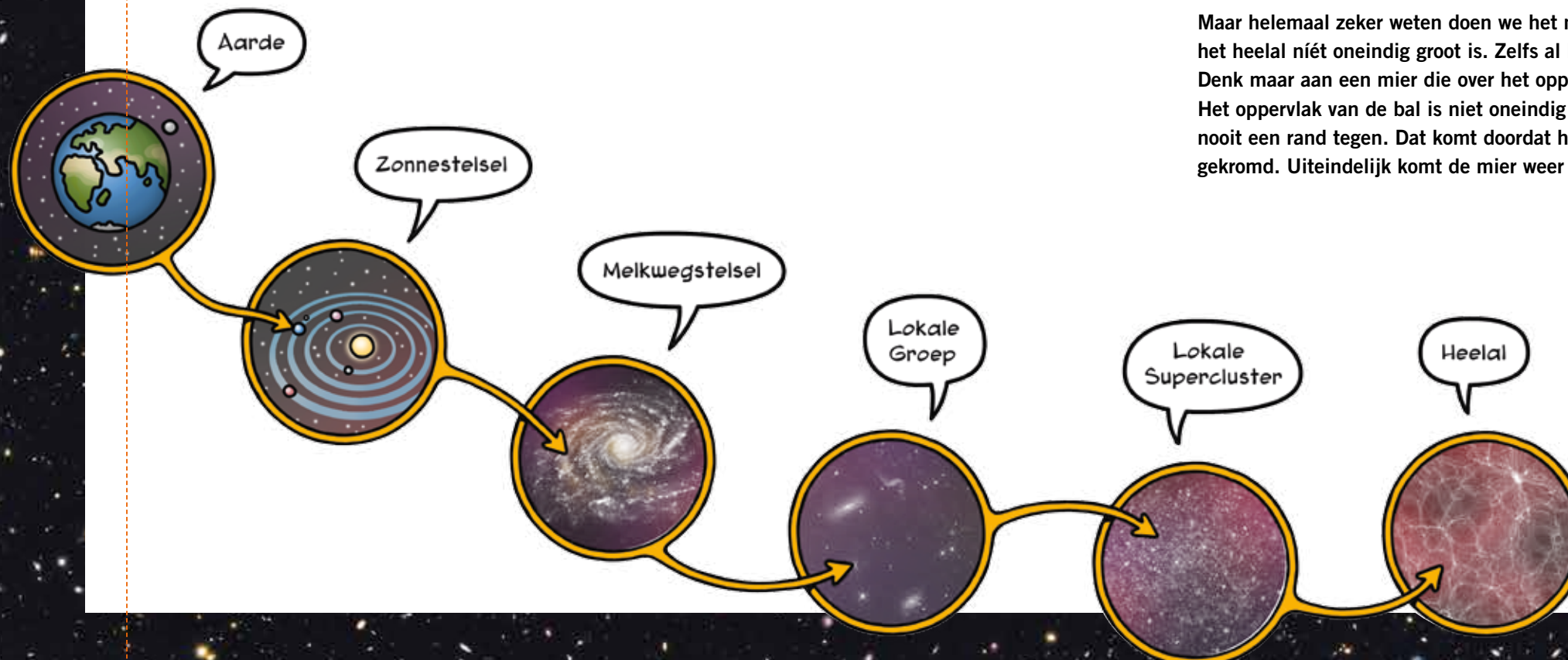
Mensen zijn maar kleine wezens. Zelfs de langste man die ooit geleefd heeft (Robert Wadlow, met een lengte van 2,72 meter) stelde niets voor vergeleken met de wereld van planeten en sterren. Je moet meer dan honderdduizend Robert Wadlows op elkaars schouders laten staan om een toren van driehonderd kilometer hoog te maken, de afstand tussen het noordelijkste en het zuidelijkste punt van Nederland. Je hebt 3600 keer Nederland nodig om het landoppervlak van de aarde te bedekken. Een stapel van honderd aardbollen past rechtop in de zon. De zon is één van de drie- of vierhonderd miljard sterren in het Melkwegstelsel. En in het deel van het heelal dat wij kunnen zien, zweven maar liefst zo'n honderd miljard van die sterrenstelsels rond.

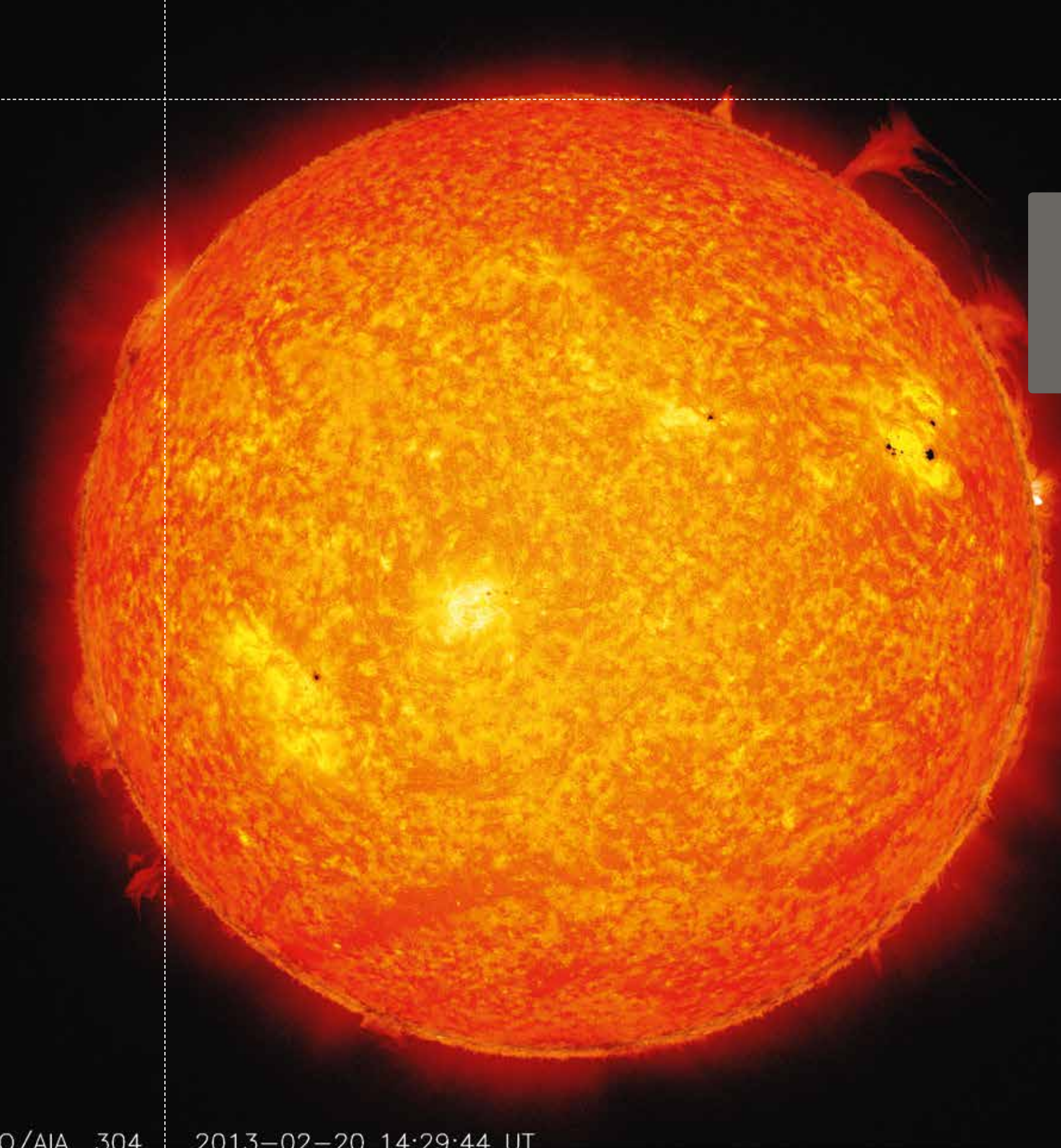
En hoe groot is het heelal? Die vraag is niet zo eenvoudig te beantwoorden. Wij kunnen maar een bepaald deel van het heelal zien. Verderop in dit boek lees je daar meer over. Wat er voorbij die kosmische 'horizon' ligt, weten we niet zeker. Misschien is het heelal wel oneindig groot.

Een oneindig heelal – een heelal dat nooit ophoudt – kun je je misschien maar moeilijk voorstellen. Toch is het niet zo raar. Denk maar aan een rij getallen: 1, 2, 3, 4, 5, enzovoort. Die getallenrij is ook oneindig lang. Hoe groot een getal ook is, je kunt er altijd nog 1 bij optellen. Of je kunt het getal met 2 vermenigvuldigen. Er is altijd een manier om een nóg groter getal te maken. Er bestaat niet zoiets als 'het grootste getal'.

Zo is het met het heelal misschien ook. Hoe ver je ook reist, je kunt altijd nog een kilometer verder, of nog een keer dezelfde afstand afleggen. Je komt nooit op een punt waar je niet verder kunt. Het heelal heeft geen rand. Het gaat alsmaar door; het is oneindig groot.

Maar helemaal zeker weten doen we het niet. Het zou ook kunnen dat het heelal níét oneindig groot is. Zelfs al kom je nooit bij een rand uit. Denk maar aan een mier die over het oppervlak van een strandbal loopt. Het oppervlak van de bal is niet oneindig groot, maar toch komt de mier nooit een rand tegen. Dat komt doordat het oppervlak niet plat is, maar gekromd. Uiteindelijk komt de mier weer op zijn beginpunt uit.





HEET EN KOUD

deel 2

Tijdens de oerknal, toen het heelal geboren werd, was het superheet: vele biljoenen graden. Nu is het in de lege ruimte 270 graden onder nul, bijna de koudste temperatuur die er bestaat. Bij zulke extreme temperaturen kan er niets leven. Onze aarde staat gelukkig niet te dicht bij de zon, en niet te ver weg. Daardoor is de temperatuur hier precies goed voor vloeibaar water, en voor leven. Wat denk je, zou er op andere planeten, bij andere sterren, ook leven bestaan? En hoe ziet dat er dan uit?

Speuren naar leven op Mars



SPEUREN NAAR BUITENAARDS LEVEN

In het heelal komen heel extreme temperaturen voor, van onvoorstelbaar koud tot waanzinnig heet. Eigenlijk is de kosmos niet echt geschikt voor levende wezens zoals jij en ik. Alleen als de temperatuur ergens tussen de nul en veertig graden Celsius ligt, kan een mens overleven zonder speciale hulpmiddelen. Sommige bacteriën zijn wat beter bestand tegen hitte of kou, maar als het heter is dan 120 graden of kouder dan tweehonderd graden onder nul, is er geen enkele vorm van leven meer mogelijk.

Als je wilt weten of er buitenaards leven bestaat, moet je dus op zoek naar planeten met de juiste temperatuur. Bij voorkeur tussen de nul en honderd graden, zodat er vloeibaar water kan bestaan. In ons eigen zonnestelsel is de aarde de enige planeet met zeeën en oceanen, en op aarde komt dan ook veel leven voor.

EIGENLIJK IS DE KOSMOS NIET ECHT GESCHIKT VOOR LEVENDE WEZENS ZOALS JIJ EN IK.

Toch zou er op Mars misschien ook leven kunnen zijn. Meestal is het op Mars tientallen graden onder nul, maar sommige bacteriën kunnen daar wel tegen. En als er nú geen leven op Mars is, is het er misschien wel ooit geweest: een paar miljard jaar geleden had Mars een dikkere dampkring, en was de temperatuur aan het oppervlak veel hoger dan nu.

Het zou natuurlijk best kunnen dat de aarde de enige 'levende' planeet in het zonnestelsel is. Maar sinds 1995 weten we dat er rond andere sterren ook planeten cirkelen. In dat jaar werd de eerste *exoplaneet* ontdekt: een planeet in een baan om een andere ster. Inmiddels zijn er al duizenden bekend. Alleen ons eigen Melkwegstelsel telt waarschijnlijk al een paar honderd miljard planeten.

Om te weten of er op zo'n planeet iets kan leven, moet je eerst weten of de planeet zich in de bewoonbare zone van zijn ster bevindt: het gebied waar vloeibaar water kan bestaan. Voor een kleine, koele dwergster ligt die bewoonbare zone natuurlijk dichterbij dan voor een grote, hete reuzenster.

De planeet moet het liefst ook een beetje op de aarde lijken: geen gasplaneet zoals Jupiter of Saturnus, maar een vrij kleine wereld van gesteenten en metalen, met een vast oppervlak, zodat er oceanen kunnen voorkomen. En hij moet ook een dampkring hebben die bescherming biedt tegen gevaarlijke straling en elektrisch geladen deeltjes uit de kosmos.

Met telescopen op aarde en in de ruimte zijn al een paar van die 'aarde-achtige' planeten ontdekt. Hun werkelijke aantal is natuurlijk veel en veel hoger; ze zijn gewoon heel moeilijk te vinden omdat ze zo klein zijn. Het kan niet anders of er zijn miljarden exoplaneten in ons Melkwegstelsel die veel op de aarde lijken. Met zeeën en oceanen, woestijnen en poolkappen, vulkanen en bergbeekjes.



HOE HEET WAS DE OERKNAAL?

Het oppervlak van de zon heeft een temperatuur van 5700 graden. Je zou denken dat het een paar honderdduizend kilometer bóven de zon al een stuk kouder is. Toch is dat niet zo. De zon heeft een heel ijle dampkring, de *corona*. Het gas in de corona heeft een temperatuur van maar liefst een miljoen graden. Omdat het gas zo ijl is – er zitten maar weinig atomen in een kubieke centimeter – kan het vrij gemakkelijk verhit worden. Toch is niet precies bekend hoe de corona zo heet kan zijn.

Ook in de 'lege' ruimte tussen de sterrenstelsels kom je gasatomen tegen. Vooral als de sterrenstelsels deel uitmaken van een grote cluster. Dat clustergas is nog ijler dan het gas in de corona van de zon. Het is ook nog een stuk heter: vaak wel tientallen miljoenen graden. Zulk heet gas zendt geen zichtbaar licht uit zoals de zon, maar *röntgenstraling*, een vorm van 'onzichtbaar licht' met een heel hoge energie.

Nog hogere temperaturen kom je tegen in supernova's. Een *supernova* is de explosie van een zware ster die aan het eind van zijn leven is gekomen. Op het moment dat de ster ontploft, is de temperatuur in het binnenste maar liefst honderd miljard graden. Bij zulke extreme temperaturen kunnen er geen atomen meer bestaan; de kerndeeltjes (protonen en neutronen) en de elektronen vliegen allemaal kriskras door elkaar heen.

Madurodam



En de zon? Die heeft een middellijn van 1,4 miljoen kilometer, en hij staat op 150 miljoen kilometer afstand van de aarde. In ons schaalmodel is het dus een bol van 1,4 kilometer groot, op een afstand van 150 kilometer. Als die ‘Madurodam-zon’ in Utrecht zou staan, zou de ‘Madurodam-aarde’ helemaal in Maastricht staan!

Een schaal van 1:1.000.000 is eigenlijk nog veel te groot om een goed beeld te krijgen van de afstanden in het zonnestelsel. Het is beter om alles nog eens duizend maal zo klein te maken. De schaal is dan één op één miljard (1:1.000.000.000). Alle afmetingen en afstanden zijn één miljard keer zo klein als in het echt.

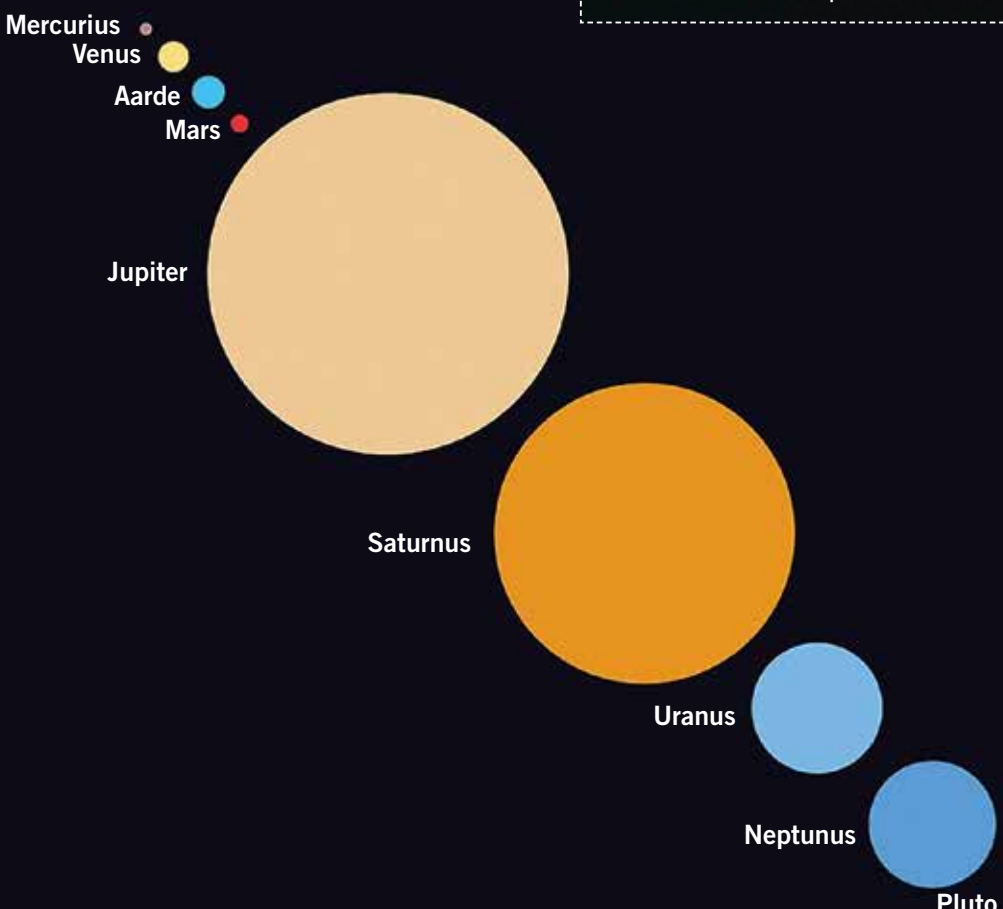
Met de getallen in de tabel hiernaast kun je nu zelf uitrekenen hoe groot alle hemellichamen dan worden, en op welke afstanden ze staan. De zon krijgt een middellijn van 1,4 meter. De aarde is een knikkertje van ongeveer 1,3 centimeter, op 150 meter afstand van de zon. De reuzenplaneet Jupiter is in het schaalmodel een bol van ruim veertien centimeter in middellijn. Hij komt al op een afstand van bijna achthonderd meter van de zon.

Het is leuk om zo’n schaalmodel zelf te maken. Voor de zon kun je een grote cirkel knippen uit een paar vellen geel karton. Voor de kleine planeten gebruik je knikkers en kralen. Voor de reuzenplaneten bijvoorbeeld stuiterballen, of bollen wol. Ga steeds op zoek naar een knikker of een bal die zo nauwkeurig mogelijk de juiste middellijn heeft.

Daarna moet je de planeten op de goede afstand van de zon zetten. Gebruik eventueel een plattegrond van je woonplaats om te bekijken waar ze terechtkomen. Voor Saturnus, Uranus en Neptunus is het misschien handig om de fiets erbij te pakken!

Als je schaalmodel klaar is, heb je echt een goed beeld van de enorme afstanden in het zonnestelsel. De middellijn van de aarde is maar 1,3 centimeter, maar de afstand van de zon tot Neptunus is bijna 4,5 kilometer! Zo zie je hoe leeg het zonnestelsel is.

Planeetbollen op dezelfde schaal



Reken nu voor de grap ook eens uit hoe ver het is naar de dichtstbijzijnde ster. Die staat in het echt op een afstand van ongeveer 40 biljoen kilometer. In je schaalmodel is die afstand één miljard keer zo klein. Waar kom je dan op uit?

Hemellichaam	Middellijn (km)	Afstand tot de zon (km)
Zon	1.400.000	-
Mercurius	4880	57.900.000
Venus	12.103	108.200.00
Aarde	12.756	149.600.000
Mars	6794	228.000.000
Jupiter	142.200	778.200.000
Saturnus	120.500	1.433.500.000
Uranus	51.120	2.862.000.000
Neptunus	49.530	4.480.100.000



OP REIS NAAR DE STERREN

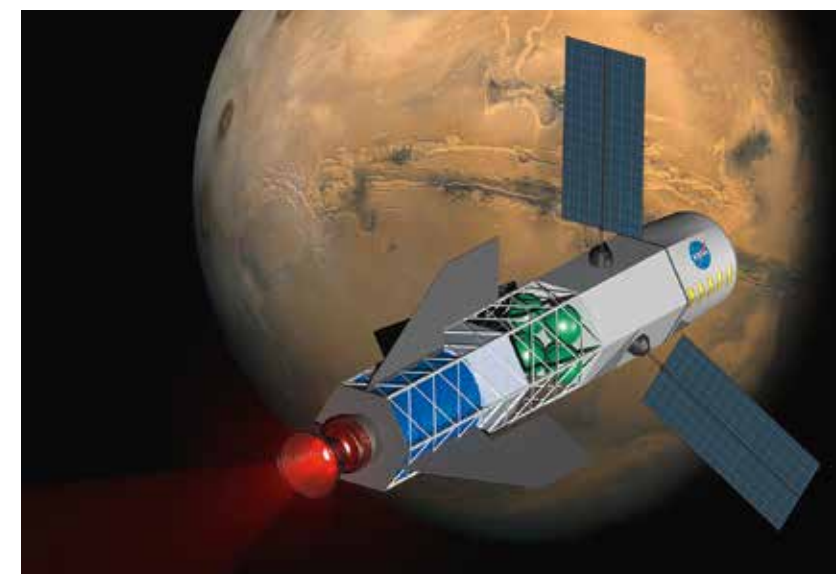
Voor sommige mensen is een tripje naar Londen al een hele onderneming. Andere mensen dromen van een reis naar de sterren. De vraag is natuurlijk of die droom ooit werkelijkheid wordt. Zal het in de toekomst mogelijk zijn om kriskras door het heelal te reizen? Of staan de sterren daarvoor echt te ver weg?

Je moet altijd een beetje oppassen met dat soort voorspellingen. Lang geleden zou niemand ooit geloofd hebben dat er een keer mensen zouden rondlopen op de maan, of dat er robotwagentjes zouden rondrijden op Mars. Wie weet wordt er morgen een uitvinding gedaan waardoor een reis naar een andere ster opeens de gewoonste zaak van de wereld wordt.

Toch zijn er wel een paar grote problemen. Niets kan bijvoorbeeld sneller reizen dan een lichtstraal: 300.000 kilometer per seconde. Dat is de hoogst mogelijke snelheid in de natuur. Dus een reis naar een andere ster, op een afstand van tientallen of honderden lichtjaren, duurt in ieder geval enorm lang. Misschien wel langer dan een mensenleven.

Een ander probleem is dat er onderweg geen supermarkten zijn. Je moet al je eten en drinken vanaf de aarde meenemen. Of je moet een soort boerderij aan boord hebben, waar groente, fruit en graan wordt verbouwd, en waar kippen en koeien rondlopen. Dan heb je nooit gebrek aan brood, kaas, eieren, appels en boerenkool. Maar dat kost wel weer veel ruimte, en ook heel veel energie.

In het verleden zijn er allerlei plannen bedacht voor grote ruimtekolonies. Zo'n kolonie is eigenlijk een vliegende stad, waar honderden of duizenden mensen wonen en werken. Ze gaan naar school, ze worden volwassen, ze krijgen kinderen, en als ze oud zijn gaan ze dood. Als de ruimtekolonie na een paar eeuw bij een andere ster aankomt, wordt hij bevolkt door mensen die op het moment van vertrek nog niet geboren waren.



Bemande reis
naar de sterren