

# Handboek

# sterren

GOVERT SCHILLING

# kunde

FONTAINE UITGEVERS

# Inhoud

## 1 Sterrenkunde als wetenschap 10

### 1. De geschiedenis van de sterrenkunde

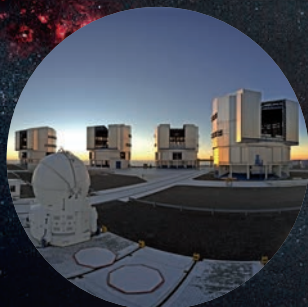
- De oudste wetenschap 12
- Sterrenkunde in de prehistorie 13
- Kristallen sferen en hulpcircels 14
- Duizend-en-één nacht 16
- Maya-astronomie 17
- De Copernicaanse revolutie 18
- Keplers wetten 20
- Galilei en Newton 21
- De ontwikkeling van de moderne sterrenkunde 22

### 2. Telescopen

- De uitvinding van de telescoop 24
- De ontdekkingen van Galilei 25
- De telescoop wordt verbeterd 26
- De reuzentelescopen van Herschel 27
- Groter en groter 28
- Nieuwe technologieën 30
- Grote telescopen op de grond 32
- Telescopen in de ruimte 33
- Telescopen van de toekomst 34

### 3. Moderne sterrenkunde

- Het elektromagnetisch spectrum 36
- Spectroscopie 38
- Radioastronomie 39
- Infraroodsterrenkunde 40
- Ultraviolet-, röntgen- en gammasterrenkunde 42
- Kosmische straling, neutrino's en zwaartekrachtgolven 43
- Wetenschappelijke kunstmanen 44
- Computers in de sterrenkunde 46
- Sterrenkunde en kwantumfysica 47



## 2 De sterrenhemel 48

### 4. De hemelbol

- Oriëntatie aan de sterrenhemel 50
- Dag en nacht 51
- De veranderlijke sterrenhemel 52
- Poolshoogte 54
- Zonnetijd en sterrentijd 55
- Hoeken aan de hemel 56
- Hoogte en azimut 57
- Rechte klimming en declinatie 58
- Lichtvervuiling 59

### 5. Sterrenbeelden

- Wat is een sterrenbeeld? 60
- Sterrenbeelden bij andere volkeren 61
- Grote Beer en Poolster 62
- Zuiderkruis en Alfa Centauri 63
- De lentesterrenhemel 64
- De zomersterrenhemel 66
- De herfststerrenhemel 68
- De wintersterrenhemel 70

### 6. De Dierenriem

- Wat is de Dierenriem? 72
- Precessie 73
- Ram, Stier en Tweelingen 74
- Kreeft, Leeuw en Maagd 76
- Weegschaal, Schorpioen en Boogschutter 78
- Steenbok, Waterman en Vissen 80
- Astrologie 82
- Samenstanden en bedekkingen 83

### 7. Amateursterrenkunde

- Het oog en de verrekijker 84
- Lenzenkijkers 86
- Spiegelkijkers 87
- Moderne amateurtelescopen 88
- Computers en amateursterrenkunde 90
- Camera's 91
- Astrofotografie 92
- Publiekssterrenwachten, planetaria en verenigingen 94

## 3 Aarde, maan en zon

### 8. Bewegingen en verduisteringen

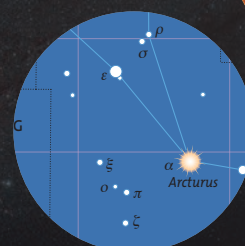
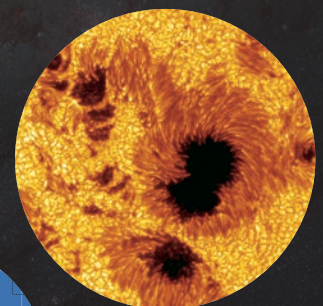
- Dagen, maanden en jaren 98
- Eb en vloed 99
- De schijngestalten van de maan 100
- Seizoenen 102
- Maansverduisteringen 104
- Zonsverduisteringen 106
- Tijdvereffening 108
- De kalender 109

### 9. De maan

- Kennismaking met de maan 110
- Eerste kwadrant 112
- Tweede kwadrant 114
- Derde kwadrant 116
- Vierde kwadrant 118
- De achterkant van de maan 120
- Het ontstaan van de maan 121

### 10. De zon

- Kennismaking met de zon 122
- De zon ontmaskerd 123
- Het inwendige van de zon 124
- Corona en zonnewind 126
- Zonnevlekken 127
- De activiteitscyclus van de zon 128
- Zon en klimaat 130
- De toekomst van de zon 131
- Veilig kijken naar de zon 132



## 4 Het zonnestelsel 134

### 11. De binnendelen van het zonnestelsel

Het ontstaan van de planeten 136  
Kennismaking met het zonnestelsel 138  
Mercurius 139  
Kijken naar Venus 140  
Planeetovergangen 141  
Kennismaking met Venus 142  
Kennismaking met Mars 144  
Kijken naar Mars 146  
Water op Mars 147

### 12. De buitendelen van het zonnestelsel

Kennismaking met Jupiter 148  
De manen van Jupiter 150  
Kijken naar Jupiter en Saturnus 152  
Kennismaking met Saturnus 154  
De manen van Saturnus 156  
Planeetringen 158  
Uranus en Neptunus 160  
Dwergplaneten 161

### 13. Meteoren, planetoïden en kometen

Meteoren 162  
Meteorieten 163  
Planetoïden 164  
Kosmische inslagen 166  
De Kuiper gordel 167  
Kometen 168  
Beroemde kometen 170  
Kijken naar kometen 172  
Zodiakaal schijnsel 173

## 5 Het Melkwegstelsel 174

### 14. Sterren

Helderheid en afstand 176  
Kleur en spectraaltype 177  
Dubbelsterren en meervoudige sterren 178  
Veranderlijke sterren 180  
De geboorte van sterren 182  
De evolutie van lichte sterren 184  
De evolutie van zware sterren 185  
Neutronensterren en pulsars 186  
Zwarte gaten en gammaflitsen 187

### 15. Sterrenhopen en nevels

Verskillende soorten nevels 188  
Sternvormingsgebieden 189  
Open sterrenhopen 190  
Planetaire nevels 192  
Supernovaresten 194  
Bolvormige sterrenhopen 196  
Kijken naar nevels 198  
Kijken naar sterrenhopen 199

### 16. De Melkweg

De Melkweg aan de hemel 200  
Kijken met een verrekijker 202  
De structuur van het Melkwegstelsel 204  
De ecologie van het Melkwegstelsel 205  
Satellieten van de Melkweg 206  
Donkere materie en de halo van het Melkwegstelsel 208  
Een zwart gat in de kern van het Melkwegstelsel 209  
De Lokale Groep 210

## 6 Het heelal 212

### 17. Sterrenstelsels

Kennismaking met sterrenstelsels 214  
Typen sterrenstelsels 215  
Kijken naar sterrenstelsels 216  
Ontstaan en evolutie 218  
Actieve sterrenstelsels en quasars 219  
Clusters en superclusters 220  
Kosmische botsingen 222  
Zwaartekrachtlenzen 223  
Terugkijken in de tijd 224

### 18. De evolutie van het heelal

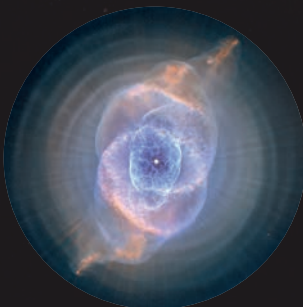
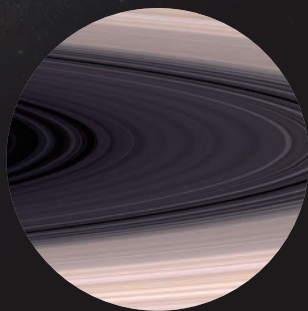
De uitdijing van het heelal 226  
Roodverschuiving 227  
De oerknaltheorie 228  
De kosmische achtergrondstraling 230  
Kritische dichtheid en donkere materie 232  
De versnellende uitdijing van het heelal 234  
Het bizarre heelal 236  
Kosmische raadsels 237

### 19. Leven in het heelal

Voorwaarden voor leven 238  
De wieg van het leven 239  
Speuren naar leven op Mars 240  
Exoplaneten 242  
Toekomstige projecten 244  
Buitenaardse beschavingen 246  
ufo's en vliegende schotels 248  
Hoe zeldzaam is de aarde? 249

Register 250

Illustratieverantwoording en aanbevolen literatuur 256



# Voorwoord

Sterrenkunde is een fascinerend onderwerp. Leven op Mars, planeten bij andere sterren, zwarte gaten, de oerknal – het spreekt allemaal enorm tot de verbeelding. Lezingen, boeken en websites over sterrenkunde trekken altijd veel publiek; opzienbarende ontdekkingen halen de voorpagina van de krant, en de schitterende foto's van de Hubble Space Telescope zouden in een museum niet misstaan.

Als je op een heldere, maanloze nacht naar de sterrenhemel kijkt, zie je niets van dat al. Mars is niet meer dan een heldere, oranje stip aan de hemel; exoplaneten staan te ver weg, zwarte gaten zijn per definitie onzichtbaar, en de oerknal is veertien miljard jaar geleden al verstomd. Toch is de sterrenhemel minstens zo indrukwekkend als een mooie Hubblefoto, en heeft iedereen wel eens vol verwondering omhoog gekeken.

Die twee werelden – het heelal van de wetenschap en het heelal van de eigen waarneming – hebben natuurlijk alles met elkaar te maken. Wie een verreikijker richt op de Orion-

nevel, wil meer weten over de geboorte van sterren. Wie leest over het gevaar van kosmische inslagen, wil ook zelf wel eens een planetoïde of een komeet zien. En wie de planeten aan de hemel ziet bewegen, wordt vanzelf nieuwsgierig naar de omstandigheden op die verre werelden.

Veel sterrenkundeboeken richten zich slechts op één van deze facetten. Sommige behandelen recente ontwikkelingen in de kosmologie, of nemen de lezer mee op een denkbeeldige reis door ruimte en tijd. Andere bieden een uitgebreide, praktische beschrijving van de sterrenhemel, zonder al te veel aandacht te besteden aan wat er allemaal bekend is over de waargenomen hemellichamen.

*Handboek sterrenkunde* vangt twee vliegen in één klap. Elk deelgebied van de astronomie komt aan bod, en de jongste wetenschappelijke inzichten worden helder uiteengezet. Tegelijkertijd wordt de lezer wegwijs gemaakt in wat er aan de sterrenhemel te zien is, en bevat het boek veel praktische



kijktips en informatie over het zelf waarnemen van de sterrenhemel.

In 256 pagina's kun je natuurlijk nooit het hele heelal vangen. Toch is *Handboek sterrenkunde* opmerkelijk compleet, en is het dankzij de gestructureerde opbouw ook uitstekend als naslagwerk te gebruiken. Wie zich in één bepaald deelgebied van de astronomie verder wil verdiepen, vindt achterin een lijst met aanbevolen literatuur.

Uniek is de sterke koppeling met de website [allesoversterrenkunde.nl](http://allesoversterrenkunde.nl). Daarop worden voortdurend actuele ontwikkelingen gemeld, en is over de meeste deelonderwerpen uit het boek meer informatie te vinden. Daarnaast is de website een onmisbaar hulpmiddel voor wie zelf de sterrenhemel wil waarnemen.

Een omvangrijk project als *Handboek sterrenkunde* is natuurlijk niet het werk van één persoon. Dit boek had nooit tot

stand kunnen komen zonder het enthousiasme en de inzet van Jeannette Bos, Henk Bril, Bert Dekker, Martin Fontijn, Annemarie van Gijn, Ellen Hooijen, Hans Jansens, Liesbeth Kuitenbrouwer, Gilbert Peeters, Wil Tirion en Jaap Vreeling. Verder ben ik dank verschuldigd aan de vele amateursterrenkundigen die hun eigen waarnemingen ter beschikking stelden.

In deze twaalfde geactualiseerde editie zijn ook de laatste ontdekkingen verwerkt en zijn recente beelden toegevoegd. *Handboek sterrenkunde* is hierdoor nóg eigentijds geworden.

## Govert Schilling

juli 2021

# Inleiding

Dit is niet zomaar een boek. Zes delen, negentien hoofdstukken, meer dan honderdvijftig verschillende onderwerpen, honderden foto's, kaarten en illustraties, tientallen tabellen en vele interessante feitjes en handige kiptips – hoe vind je daarin ooit je weg? Gelukkig is *Handboek sterrenkunde* heel overzichtelijk ingedeeld – zo heeft elk deel zijn eigen kleurstelling – en is achterin het boek een zeer uitgebreid register opgenomen.

**Deel 1** – Sterrenkunde als wetenschap – beschrijft de geschiedenis van de sterrenkunde en de ontwikkeling van de telescoop, en biedt een kijkje in de moderne keuken van de eenentwintigste-eeuwse professionele astronomie. Wie nog weinig over sterrenkunde weet, moet dit deel zeker lezen: allerlei basisbegrippen komen aan bod.

**Deel 2** – De sterrenhemel – richt zich voornamelijk op wat er 's nachts boven ons hoofd zichtbaar is. Aan de hand van duidelijke sterrenkaarten wordt de lezer er wegwijs gemaakt, waarbij de twaalf sterrenbeelden van de Dierenriem extra aandacht krijgen. Ook is er veel aandacht voor het hobby-aspect van de sterrenkunde.

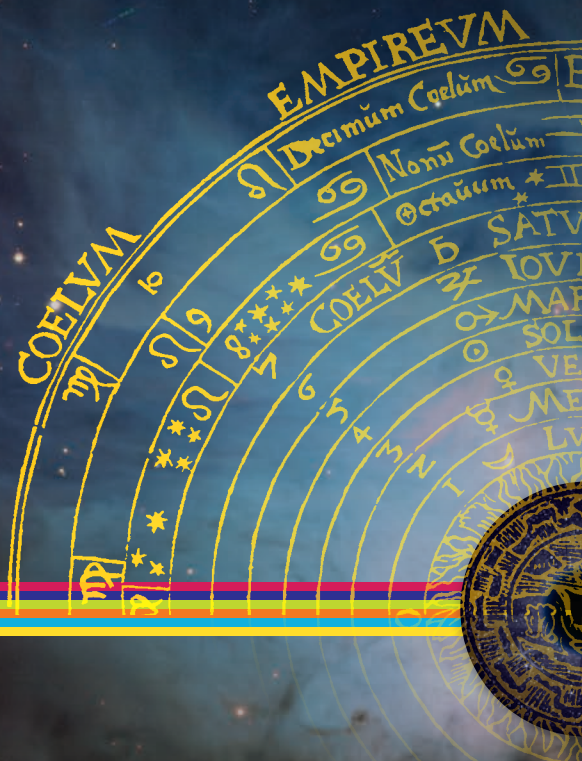
**Deel 3** – Aarde, maan en zon – beschrijft de onderlinge bewegingen van deze drie hemellichamen, waarbij onder andere maanfasen, seizoenen, en zons- en maansverduisteringen de revue passeren. Een gedetailleerde maankaart ontbreekt vanzelfsprekend niet. Maar niet alleen de waarnemer komt aan zijn trekken: dit deel gaat ook in op onze huidige kennis over zon en maan.

**Deel 4** – Het zonnestelsel – zet die trend voort. De nieuwste resultaten van het ruimteonderzoek worden belicht, en naast de bekende planeten is er ruim aandacht voor planetoïden, kometen, meteorieten en ijsdwergen. Tegelijkertijd gaat

dit deel in op de zichtbaarheid van deze hemellichamen, met informatie over op handen zijnde verschijningen aan het firmament.

**Deel 5** – Het Melkwegstelsel – beschrijft dubbelsterren, veranderlijke sterren, nevels, sterrenhopen, supernova-explosies, enzovoort. Voor het zelf waarnemen van nevels en sterrenhopen is in veel gevallen een telescoop nodig, maar sommige zijn met een verrekijker of zelfs met het blote oog al te zien. Ook hier vanzelfsprekend veel informatie over de nieuwste inzichten.

**Deel 6** ten slotte – Het heelal – voert de lezer mee in de wereld van sterrenstelsels en quasars, oerkrak en kosmische uitdijing. Ook komt de vraag naar buitenaards leven hier uit-





gebreed ter sprake. Hoewel het zelf waarnemen van sterrenstelsels zeker aan bod komt, bevat dit deel vooral theoretische informatie, over de meest fascinerende aspecten van de sterrenkunde.

Elk hoofdstuk bestaat uit acht of negen deelonderwerpen, die steeds één of twee pagina's beslaan. *Handboek sterrenkunde* kan uitstekend van voor tot achter gelezen worden, maar er valt ook heel goed in te grasduinen. De vele onderlinge verwijzingen bieden voldoende houvast, evenals het uitgebreide register.

Waar mogelijk zijn praktische kijktips en informatieve weetjes opgenomen. Zelfs bij het snel doorbladeren van het boek kom je dan ook al meteen verrassende dingen tegen. Dat geldt na-

tuurlijk ook voor de honderden schitterende foto's en illustraties die speciaal voor dit boek zijn geselecteerd en gemaakt.

Op [allesoversterrenkunde.nl](http://allesoversterrenkunde.nl) – de meest complete Nederlandstalige website over het heelal – is nog veel meer informatie te vinden over de onderwerpen die aan bod komen in *Handboek sterrenkunde*. Zo bevat de website een hemelkalender, actuele informatie, een stoomcursus sterrenkunde, enzovoort. Maar vooral biedt [allesoversterrenkunde.nl](http://allesoversterrenkunde.nl) het laatste nieuws uit de wereld van sterrenkunde en ruimtevaart, en interessante achtergrondartikelen. Via de website kunt u ook in contact komen met de auteur of u abonneren op een sterrenkundige nieuwsbrief.

# HFDST 1 DE GESCHIEDENIS VAN DE STERRENKUNDE

12

STERRENKUNDE ALS WETENSCHAP DEEL 1

## De oudste wetenschap

**S**terrenkunde is de oudste wetenschap die er bestaat. Lang voordat er iets bekend was over scheikunde, biologie of deeltjesfysica bedreven mensen al sterrenkunde. Ze moesten wel: de loop van de hemellichamen bepaalde hun dagelijks leven, en bij gebrek aan klokken en kalenders waren onze verre voorouders volledig aangewezen op de bewegingen van zon, maan en sterren.

Tegenwoordig kunnen we heel goed zonder het heelal. Om topsporter, verpleegster of minister-president te worden, hoef je niets van sterrenkunde te weten. Astronomie – een ander woord voor sterrenkunde – kent vrijwel geen directe praktische toepassingen meer. Het is een fundamentele wetenschap geworden, beoefend door nieuwsgierige mensen die gewoon alles willen weten van de wereld waarin zij leven.

Maar in de exacte wetenschap neemt sterrenkunde toch een bijzondere plaats in. Natuurkundigen zijn gewend om proeven en experimenten te kunnen uitvoeren, maar in de sterrenkunde ben je aangewezen op wat het heelal je voorschotelt en moet je vrijwel alles op afstand bestuderen. Astronomen kunnen de oerknal niet tien keer herhalen; ze kunnen geen kijkje nemen in een zwart gat of een supernova laten ontploffen op het moment dat het hun uitkomt, en wie een totale zonsverduistering wil bestuderen, moet gewoon

geduldig wachten tot de natuur er weer een aanbiedt. Misschien is de astronomie juist daardoor wel zo'n fascinerende wetenschap. Als spitsvondige detectives storten sterrenkundigen zich op elke flard bewijsmateriaal en zetten ze alles op alles om het heelal zijn geheimen te ontfuselen. De geschiedenis van de sterrenkunde is dan ook een spannend relaas van naïeve dwalingen en revolutionaire doorbraken. Aan die ontwikkeling lijkt voorlopig geen einde

te komen. Sterrenkunde mag de oudste wetenschap zijn die er bestaat, maar het heelal is grotendeels nog onontgonnen terrein.



**KOSMISCHE ORDE** Onze tijdrekening is gebaseerd op de sterrenhemel, zoals te zien is op dit vijftiende-eeuwse kalenderblad.





**HEILIGE STENEN** Stonehenge in Zuid-Engeland werd onder andere gebruikt als kalender en observatorium.

## Sterrenkunde in de prehistorie

**H**onderduizenden jaren geleden keken de verre voorouders van *Homo sapiens* op de Afrikaanse savanne al vol verwondering naar de sterrenhemel. De continue afwisseling van dag en nacht, de schijn gestalten van de maan en de wisseling van de seizoenen lagen voor de eerste natuurvolkeren aan de basis van het bestaan. Geen wonder dat de hemellichamen in vrijwel alle primitieve culturen nauw verbonden waren aan de godenwereld. De ontdekking van de regelmaat in de bewegingen van zon, maan en sterren kan beschouwd worden als de geboorte van de astronomie. De hemellichamen boden de mogelijkheid om grip te krijgen op de tijd. Inkepingen in een 32.000 jaar oud dierenbot, gevonden in Frankrijk, vormen waarschijnlijk de oudste maankalender. Onaangekondigde hemelverschijnselen, zoals indrukwekkende zons- en maansverduisteringen, plotseling opduikende kometen of 'nieuwe'

sterren aan de hemel, verstoorden die regelmaat en werden beschouwd als voorboden van onheil.

Verreweg het beroemdste prehistorische sterrenkunde-monument is Stonehenge, een grote kring van kolossale blokken bewerkt zandsteen in Zuid-Engeland. Hoewel over de oorspronkelijke functie van Stonehenge nog steeds wordt gedebatteerd, heeft het duizenden jaren oude bouwwerk zonder twijfel dienst gedaan als kalender. Sommige sterrenkundigen denken zelfs dat de neolithische bouwers in staat waren om met behulp van Stonehenge zons- en maansverduisteringen te voorspellen.

Door de nauwe relatie tussen sterrenhemel en religie werd astronomie vroeger vooral door druïden, ziensers en priesters bedreven. Zo ontstond ook de astrologie: de loop van de hemellichamen zou de wil der goden verbeelden en van invloed zijn op gebeurtenissen op aarde. Zowel in het oude China en Egypte als in het Babylonische rijk vormden sterrenwielarij en kalenderrekening de twee belangrijkste pijlers van de astronomie. Van echte wetenschap was nog geen sprake.

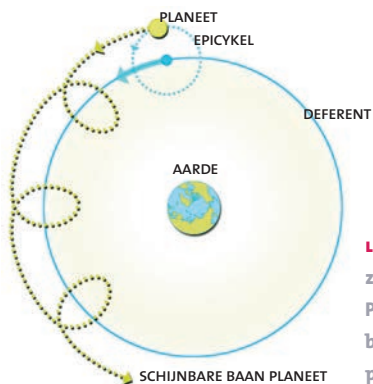


**EERSTE MAANKALENDER** Inkepingen op een prehistorisch dierenbot vormen de oudst bekende maankalender.



## Kristallen sferen en hulpcirkels

Een paar eeuwen voor het begin van onze jaartelling waren het Griekse wijsgeren die als eersten nadachten over afstanden en afmetingen in het heelal. Erg nauwkeurig waren die eerste bepalingen nog niet: Aristarchus van Samos (ca. 310-230 v.Chr.) dacht bijvoorbeeld dat de zon op vijf miljoen kilometer afstand stond – drie procent van de werkelijke waarde. Wel wisten de Grieken al sinds de tijd van Pythagoras (ca. 580-500 v.Chr.) dat de aarde een bol is, en bepaalde Eratosthenes van Cyrene (276-194 v.Chr.) de omtrek van die bol op 250.000 stadiën, vrijwel exact gelijk aan de werkelijke waarde van 40.000 kilometer.

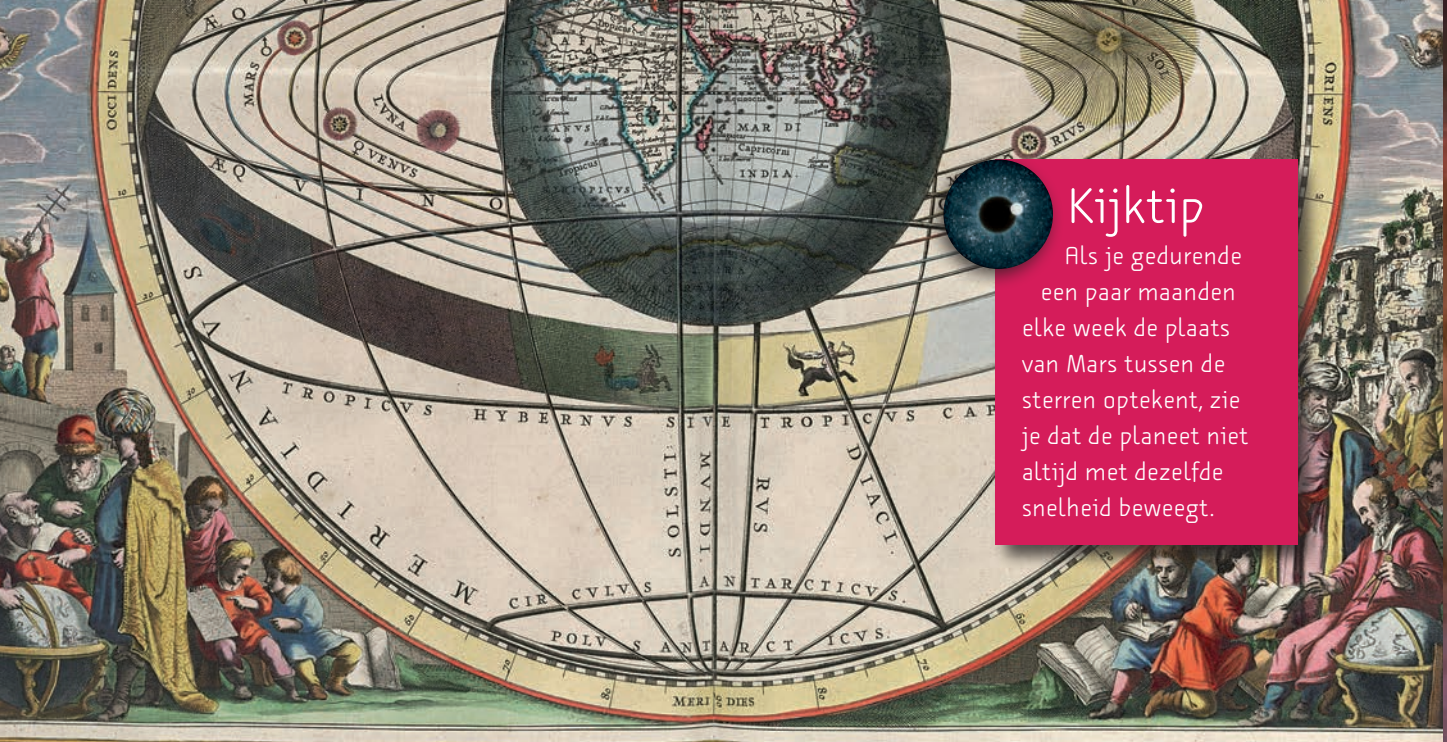


**LUSVORMIGE BANEN** Met zijn epicykelmodel kon Ptolemaeus de lusvormige bewegingen van de planeten verklaren.

Het Griekse wereldbeeld was echter grotendeels gebaseerd op filosofische overwegingen in plaats van op waarnemingen. Zo zouden alle hemellichamen met een constante, 'eenparige' snelheid over volmaakt bolvormige, kristallen sferen bewegen, waarvan de afmetingen speciale wiskundige verhoudingen zouden vertonen. Dat geocentrische wereldbeeld, met de aarde in het middelpunt, werd al geïntroduceerd door de grote wijsgeer Aristoteles (384-322 v.Chr.), een student van de filosoof Plato. De Grieken kenden zeven bewegende hemellichamen: de maan, Venus, Mercurius, de zon, Mars, Jupiter en Saturnus. Die werden 'dwaalsterren' genoemd (*planētēs* in het Grieks), en wij hebben er de indeling van de week in zeven dagen aan te danken. Buiten de sferen van deze zeven 'planeten' bevond zich de sfeer van de 'vaste sterren', die voor het eerst opgemeten en gecatalogiseerd werden door Hipparchus van Rhodos (ca. 190-125 v.Chr.), die ook de extreem trage standverandering van de draaiingsas van de aarde ontdekte.

### Epicykels

Hipparchus legde de basis voor de epicykeltheorie, die vervolmaakt werd door de Alexandrijnse astronoom Claudius Ptolemaeus (ca. 100-170). Met het sferenmodel van Aristoteles kon namelijk niet verklaard worden waarom de planeten



## Kijktip

Als je gedurende een paar maanden elke week de plaats van Mars tussen de sterren optekent, zie je dat de planeet niet altijd met dezelfde snelheid beweegt.



**GROTE INVLOED** Claudius Ptolemaeus drukte 1400 jaar lang zijn stempel op de astronomie.

zich soms snel en soms heel langzaam of zelfs achterwaarts tussen de sterren verplaatsen. Hoewel Aristarchus al eens had gesuggereerd dat niet de aarde maar de zon in het middelpunt van het heelal zou staan, hield Ptolemaeus vast aan de centrale positie van de aarde en aan de eenparige cirkelbeweging. In zijn wereldbeeld bewegen de planeten op hulpcircels (epicykels), waarvan het lege

middelpunt een cirkelbaan (deferent) om de aarde beschrijft. Om het model in overeenstemming te brengen met de waarnemingen moest Ptolemaeus uiteindelijk vele honderden epicykels gebruiken, en zou de aarde ook niet exact in het middelpunt van de cirkelvormige deferenten staan, waardoor het systeem bijzonder ingewikkeld werd. Ptolemaeus legde het model vast in zijn dertiendelige manuscript *Hé mathématiké syntaxis* ('De wiskundige verhandeling'), dat ruim duizend jaar lang zijn stempel zou drukken op de ontwikkeling van de astronomie.

Ptolemaeus' standaardwerk, dat een compleet overzicht biedt van de sterrenkundige kennis van zijn tijd, inclusief de stercatalogus van Hipparchus, werd in de vroege Middeleeuwen door Arabische astronomen *Kitab al-Madjisti* ('het grootste boek') genoemd. Dat werd later verbasterd tot *Almagest* – de naam waaronder het boek tot op de dag van vandaag bekend is.



ثم ان كان ستمها في وسط الهجرة والاثنان الجنوبيان في الطرف الشرقي  
 المعاصر والوارث لانها شبهت الهجرة بنهر النعام وقد ورد في القرآن  
 الذي على الكعبتين والاسم الذي على قوس التسمية والحادي والعشرين  
 الذي على الكعبتين والثاني على والعشرين الذي تحت الخطوط على سبع  
 اربابا بيدها بين الهجرة الى ناحية المشرق النعام الصادق شبهت ليعلم  
 الماء وصدره من النهر ويسمى الرابع الذي على الطرف الشمال من القوس الذي  
 قد صار بين النعامين في الشمال وقد صرهما من القوس والحاصل الذي  
 على السبب انما ليمن القوس الطلسمان من بين النجوم الذي بين النعامين  
 الوصل وهو المنزلة العشرين ومن منازل القمر ويسمى التاسع والعاشر  
 والحادي عشر والثاني عشر والثالث عشر والرابع عشر وهو الستة التي  
 على خط مقوس من خط السحابة الذي على بين الرابطة والسادسة والعاشر  
 ايضا وهذه الستة القوس التي قد مر بها في حنيفه ان هذا البحر على  
 بها لانها يشبه القوس ويسمى ايضا القوس الاخرى ويسمى النجم الذي تحت  
 القلادة الذي ليس في كوكب القلادة وهو المنزلة الحادي والعشرين  
 منازل القمر ويقال ان القمر يما فيه منزلة القلادة ويجوز ان يكون كذلك  
 لان كوكبا قريبه من المنطقه ويسمى السادس والعشرين والسابع والعشرين  
 الذين على الخط الغربي والسادس من القوس يعني القوس  
 وهذه صورة الراي

TULBAND-ASTRONOMIE Perzisch manuscript van al-Sûfi met een afbeelding van het sterrenbeeld Boogschutter.

# Duizend-en-één nacht

De Griekse ideeën over het heelal verspreidden zich dankzij de veldtochten van Alexander de Grote (356-323 v.Chr.) tot in India en bereikten via die omweg in de achtste eeuw de Arabische wereld. Aan de paleizen van Turkse sultans en Arabische kaliefs werden hofastronomen benoemd, die nauwkeurige waarnemingen van de sterrenhemel verrichtten om betere astrologische voorspellingen te kunnen doen. Van de achtste tot de twaalfde eeuw was het Arabische rijk het wetenschappelijke centrum van de wereld.

De Perzen en Arabieren ontwikkelden instrumenten om sterposities vast te leggen, zoals het astrolabium. Muhammad ibn Jâbir ibn Sinân Abu-'Abdallâh al-Battânî (meestal kortweg al-Battânî of Albategnius genoemd, 858-929) voerde precisiemetingen uit aan de lengte van het jaar en de duur van de astronomische seizoenen. Een jongere tijdgenoot van al-Battânî, 'Abd al-Rahmân ibn 'Umar (903-986), was de eerste die nevelvlekken en veranderlijke sterren aan de hemel ontdekte. Hij ging de geschiedenis in als al-Sûfi ('de wijze'). Een van de grootste islamitische astronomen was Ulugh Beigh (1394-1449), die een observatorium bouwde in Samarkand, in het huidige Oezbekistan. Daar bepaalde hij voor het eerst na Ptolemaeus de posities en helderheden van honderden sterren. Delen van het observatorium van Ulugh Beigh zijn nog steeds bewaard gebleven. Door de wiskundige belangstelling van de astronomen in het Midden-Oosten werd sterrenkunde van een meetkundige bezigheid langzaam maar zeker een rekenkundige wetenschap. Zo stelden zij uitgebreide tabellen samen voor het afleiden van planeetposities. De beroemdste zijn de alfonsische tafels, genoemd naar koning Alfonso x van Castilië (1223-1284), die zijn troon had in het voorheen Arabische Toledo. Deze tafels bleven tot in de zestiende eeuw in gebruik bij Europese sterrenkundigen.



ISLAMITISCH OBSERVATORIUM Russische herdenkingspostzegel waarop Ulugh Beigh en zijn sterrenwacht zijn afgebeeld.



**GEVLEUGELDE SLANG** De piramide van Chichén Itzá was gewijd aan de gevleugelde slangengod Quetzalcoatl, de personificatie van Venus.

## HFDST 1 DE GESCHIEDENIS VAN DE STERRENKUNDE

17

# Maya-astronomie

**T**erwijl Arabische astronomen in de Oude Wereld de basis legden voor de moderne sterrenkunde, werd de sterrenhemel aan de andere kant van de Atlantische Oceaan nauwlettend in de gaten gehouden door de Maya. De Mayabeschaving werd aan het begin van de zestiende eeuw verwoest door de invasie van de Spaanse Conquistadores, maar enkele geschriften zijn bewaard gebleven. Toen de kleurrijke hiërogliefen in 1960 werden ontcijferd, bleek dat de Mayacultuur doordrenkt was van sterrenkunde. Volgens het wereldbeeld van de Maya wordt de hemelkoepel gedragen door vier jaguars. De Melkweg, die vanuit Midden-Amerika schitterend te zien is, hoog aan de hemel, werd de 'wereldboom' genoemd; het Zevengesternte was de staart van de ratelslang. De momenten waarop de zon exact door het zenit beweegt (het punt recht boven je hoofd) waren mijlpalen in de Mayakalender. Zelfs het eeuwenoude balspel van de Maya was geïnspireerd door verschijnselen aan de sterrenhemel.

Het belangrijkste hemellichaam was echter de heldere planeet Venus, die voor de Maya de personificatie was van de gevleugelde slangengod Quetzalcoatl. De Mayakalender was volledig gebaseerd op de zichtbaarheidscyclus van Venus, met een korte periode van 584 dagen en een lange periode van 2920 dagen. De beroemde piramide van Chichén Itzá was



**VENUSKALENDER** Uit oude manuscripten blijkt dat de Mayakalender gebaseerd was op de bewegingen van Venus.

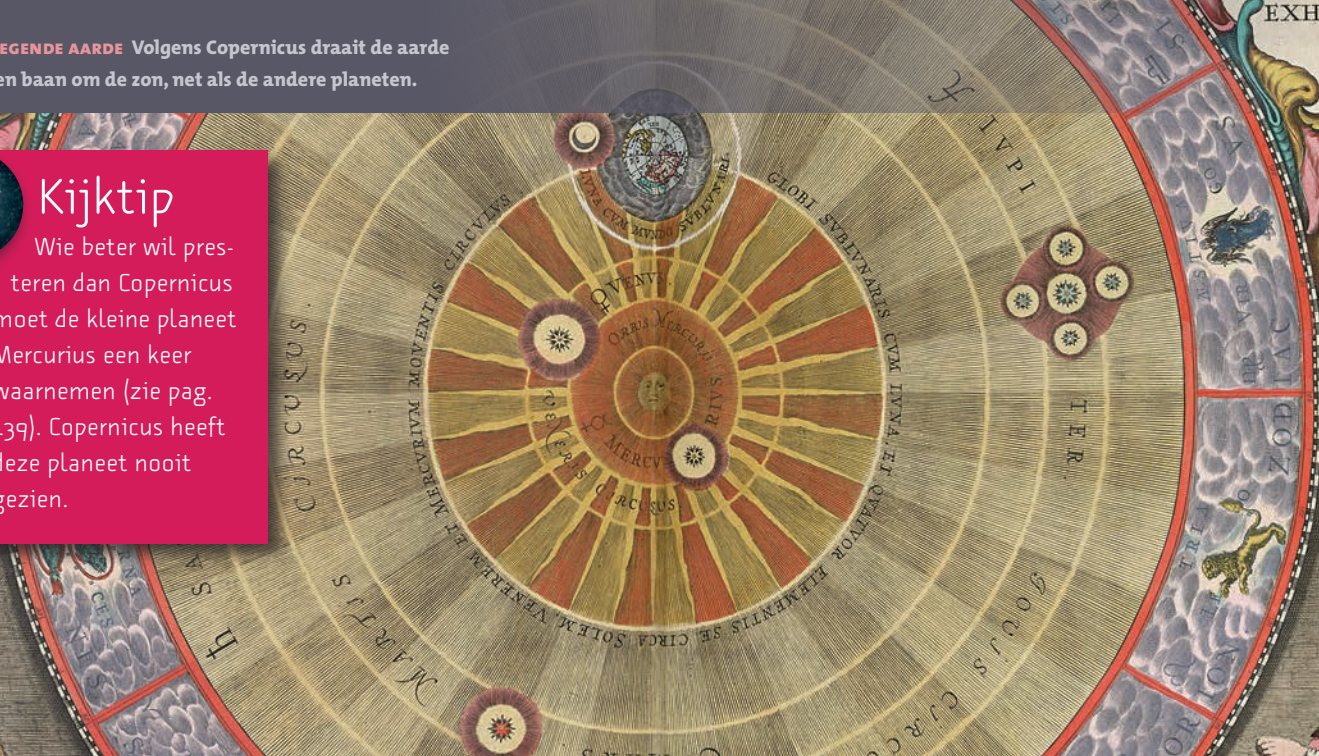
aan Quetzalcoatl gewijd en regelmatig werden hier mensenoffers gebracht aan de goden.

Hoewel ook andere Midden-Amerikaanse volkeren (zoals de Azteken in Mexico en de Inca's in Peru) veel belangstelling hadden voor de sterrenhemel, was de kennis van de hemellichamen in de Nieuwe Wereld nergens zo ver ontwikkeld als bij de Maya, die het huidige Yucatán, Guatemala en Belize bevolkten. Van enige invloed op de latere ontwikkeling van de sterrenkunde is echter geen sprake geweest.



## Kijktip

Wie beter wil presenteren dan Copernicus moet de kleine planeet Mercurius een keer waarnemen (zie pag. 139). Copernicus heeft deze planeet nooit gezien.



# De Copernicaanse revolutie

**D**e Poolse kanunnik Mikolaj Kopernigk (1473-1543) rekende resoluut af met het geocentrische wereldbeeld van de Grieken. Nicolaus Copernicus, zoals hij zichzelf noemde, studeerde theologie en astronomie aan de universiteiten van Krakau, Bologna en Padua, en was waarschijnlijk op de hoogte van de eeuwenoude suggestie van Aristarchus dat misschien niet de aarde, maar de zon het middelpunt van het heelal vormt.

Copernicus wordt algemeen beschouwd als de grondlegger van het heliocentrische wereldbeeld (*helios* is Grieks voor 'zon'). Wel hield hij vast aan cirkelbanen en eenparige bewegingen, waardoor ook het Copernicaanse model nog vele tientallen epycels kende. Ook ging Copernicus er nog steeds van uit dat alle sterren zich op min of meer gelijke afstand van de zon zouden bevinden, ver buiten de baan van de planeet Saturnus.

## Omwentelingen

Copernicus legde zijn ideeën rond 1530 neer in een lijkig boekwerk, getiteld *De Revolutionibus Orbium Coelestium* ('Over de omwentelingen van de hemellichamen'). De publicatie daarvan hield hij echter lange tijd op, uit angst voor kritiek vanuit de Kerk. Door de ondermaanse aarde te promoveren tot een planeet in een baan om de zon, plaatste

Copernicus de woonplaats van de zondige mens immers op hetzelfde niveau als de goddelijk volmaakte hemellichamen. Bovendien had de zon – symbool van Christus – volgens de religieuze leiders in Rome niets te zoeken in het diepe middelpunt van de kosmos, waar van oudsher de onderwereld gelokaliseerd werd.

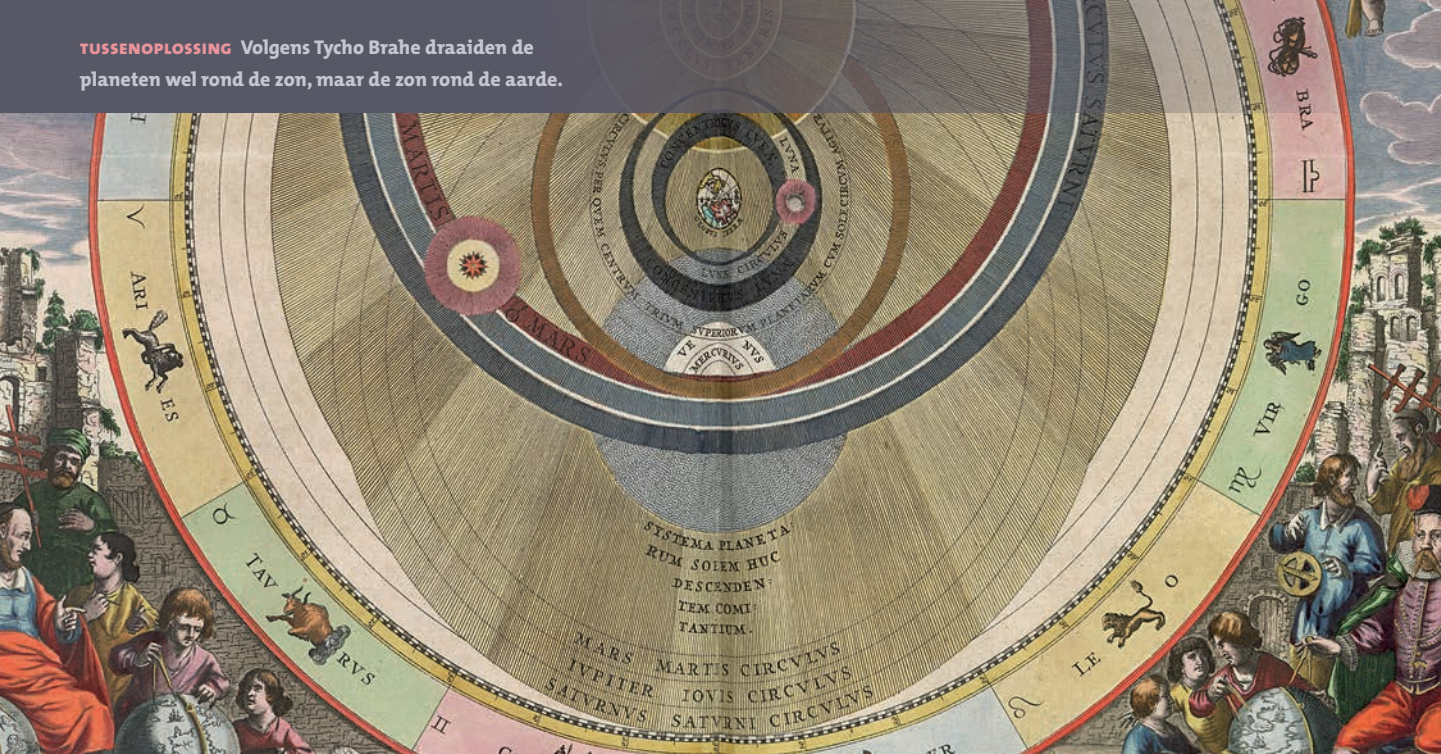
De 'Omwentelingen' zagen uiteindelijk in 1543 het licht – het jaar waarin Copernicus stierf. Volgens de overlevering

heeft de astronoom het eerste exemplaar op zijn sterfbed aangeboden gekregen. Tot zijn schrik zag hij dat zijn uitgever er eigenhandig een voorwoord in had geschreven waarin gesuggereerd werd dat het heliocen-



**ZONNIG MIDDELPUNT**  
Pagina uit Copernicus' boek *De Revolutionibus Orbium Coelestium*.

**TUSSENOPLLOSSING** Volgens Tycho Brahe draaiden de planeten wel rond de zon, maar de zon rond de aarde.



## HFDST 1 DE GESCHIEDENIS VAN DE STERRENKUNDE

19

trische wereldbeeld vooral gezien moest worden als een wiskundig model en niet als een fysische realiteit. In 1616 werd Copernicus' boek door de Kerk niettemin op de index van verboden boeken geplaatst.

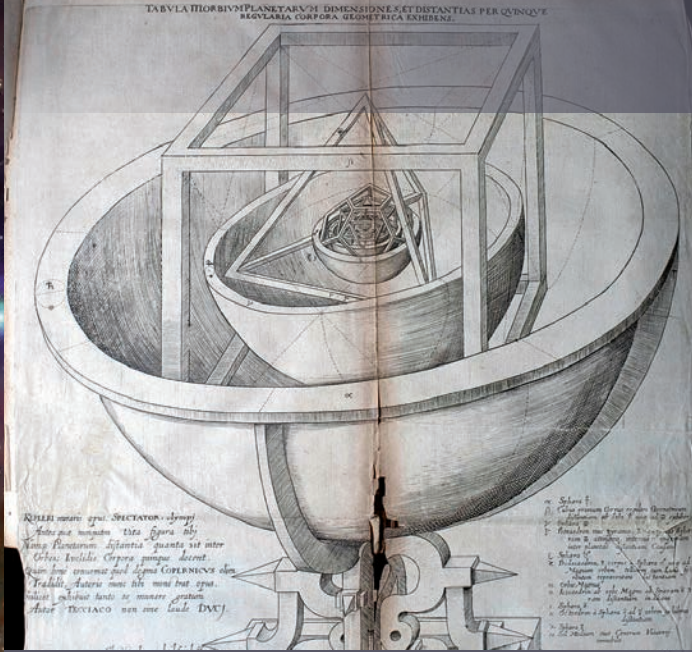
### Volgelingen

De zestiende eeuw was de eeuw van de wetenschappelijke revoluties. Ontdekkingsreizigers zwermden uit over de wereldzeeën, Andreas Vesalius (1514-1564) publiceerde de eerste atlas van de menselijke anatomie, en Copernicus brak met het ruim achttien eeuwen oude sferenmodel van Aristoteles. De meeste Europese astronomen omarmden het heliocentrische wereldbeeld, en in Engeland was Thomas Digges (1546-1595) een van de eersten die suggereerde dat de 'vaste sterren' misschien wel verspreid waren door een eindeloos uitgestrekte ruimte.

Toch waren er ook sterrenkundigen voor wie het Copernicaanse wereldbeeld een beetje te revolutionair was. De grote Deense waarnemer Tycho Brahe (1546-1601), die een groot observatorium bouwde op het eiland Ven in de Sont, wilde wel geloven dat Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus om de zon draaien, maar hij hield vast aan de centrale positie van de aarde en beweerde dat de zon – met alle planeten – een baan rond de aarde beschrijft. Het curieuze wereldbeeld van Tycho kende echter vrijwel geen aanhangers.

**REVOLUTIONAIR INZICHT** Nicolaus Copernicus is de grondlegger van het heliocentrisch wereldbeeld.





**MYSTIEKE KOSMOS** Kepler dacht dat de structuur van het zonnestelsel gebaseerd is op de vijf regelmatige veelvlakken.

# Keplers wetten

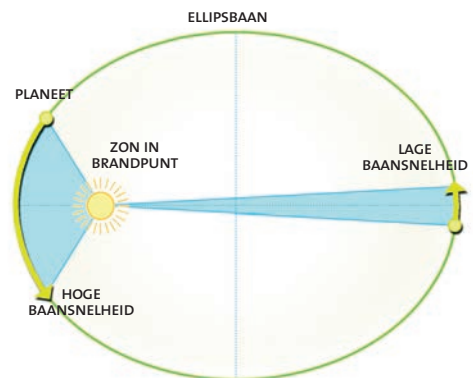
**E**en van de grootste aanhangers van Copernicus was de Duitse astronoom en wiskundige Johannes Kepler (1571-1630). Kepler was de assistent van Tycho Brahe en werd na diens dood in 1601 aangesteld als hofwiskundige van keizer Rudolf II in Praag. Met zijn wetten van de planeetbewegingen legde Kepler de basis van de moderne sterrenkunde.

Op basis van Tycho's nauwkeurige waarnemingen van de planeet Mars ontdekte Kepler dat de planeten geen cirkelbanen beschrijven maar ellipsbanen. De zon bevindt zich niet in het middelpunt van de ellipsbaan maar in een van de brandpunten (eerste wet). Ook ontdekte Kepler dat de baansnelheid van een planeet varieert: als de afstand tot de zon groter is dan gemiddeld, beweegt de planeet wat langzamer. De verbindingslijn tussen zon en planeet (de zogeheten voerstraal) bestrijkt echter in gelijke tijden gelijke oppervlakten (tweede wet).

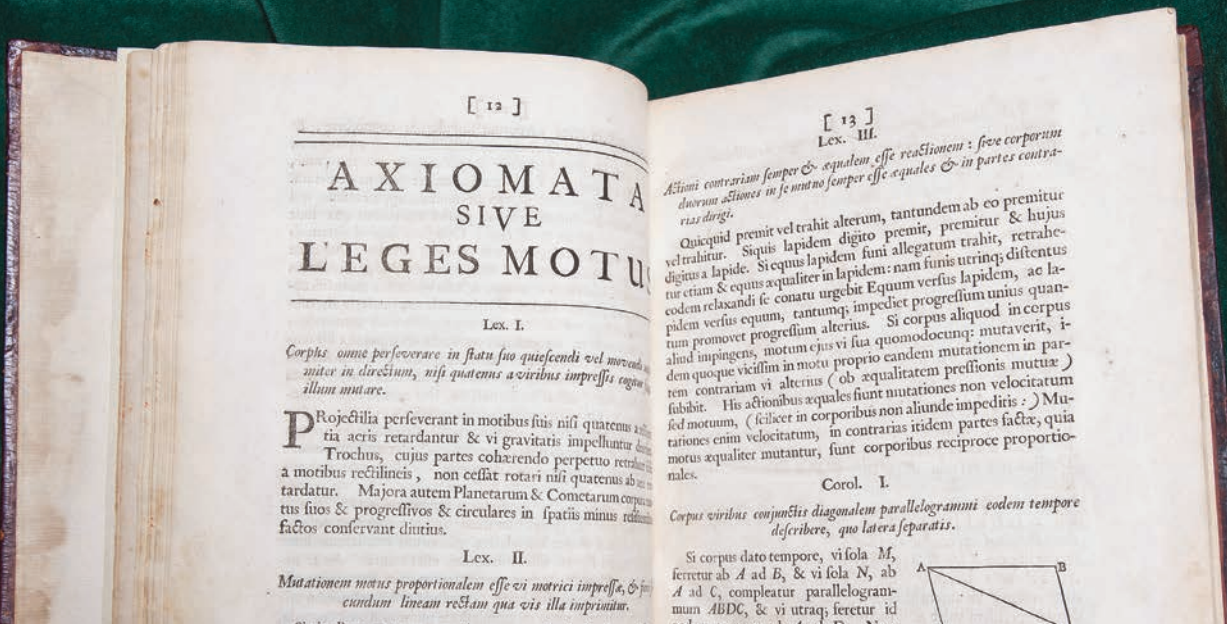
Kepler publiceerde zijn eerste twee wetten in 1609, in *Astronomia nova*. Pas tien jaar later verscheen zijn boek *Harmonice mundi*, waarin hij zijn derde wet formuleerde: de derde machten van de halve grote assen van de planeetbanen verhouden zich als de kwadraten van hun omlooptijden. Met behulp van deze wet kon voor het eerst een nauwkeurige plattegrond van het zonnestelsel worden gemaakt.

Behalve een groot wiskundige was Kepler ook een mysticus. In 1596 publiceerde hij zijn theorie dat de structuur van het zonnestelsel gebaseerd is op de geometrie van de vijf regelmatige veelvlakken, en tijdens zijn werk voor keizer Rudolf II trok hij regelmatig horoscopen. Op latere leeftijd schreef Kepler een fantasieboek over een reis naar de maan en verbeterde hij het ontwerp van de Hollandse kijker – de primitieve telescoop die eind zestiende eeuw in Middelburg was uitgevonden.

**UITGEREKT CIRKEL** De planeten draaien in ellipsbanen om de zon. De zon staat in een van de brandpunten.







**UNIVERSELE ZWAARTEKRACHT** Pagina's uit Newtons *Principia*, waarin de bewegingswetten uiteen worden gezet.

## HFDST 1 DE GESCHIEDENIS VAN DE STERRENKUNDE

21

# Galilei en Newton

Copernicus en Kepler baseerden hun sterrenkundige ideeën nog steeds voor een deel op filosofische argumenten. Daaraan kwam in de zeventiende eeuw een einde met het werk van Galilei en Newton. Galilei kan beschouwd worden als de grondlegger van de moderne natuurwetenschap, waarbij het de waarnemingen zijn die het laatste woord hebben; Newton legde het wiskundige fundament onder de astronomie.

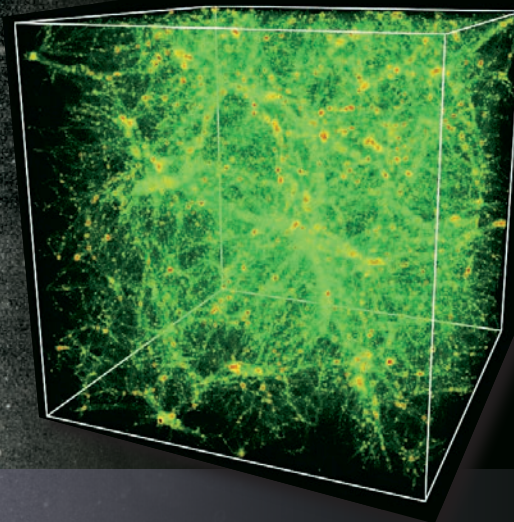
Galileo Galilei (1564-1642) is vooral beroemd geworden doordat hij als eerste een telescoop gebruikte om het heelal te bestuderen (zie pag. 25). Met zijn waarnemingen, onder andere van de schijngestalten van Venus en de manen van Jupiter, bewees hij het gelijk van Copernicus. Daarnaast deed hij baanbrekend experimenteel onderzoek naar de beweging van slingers en vallende voorwerpen. Vanwege zijn geloof in het heliocentrische wereldbeeld werd hij door de Kerk veroordeeld tot huisarrest.

De wetten van Kepler en de valproeven van Galilei vormden de basis van het revolutionaire werk van het Engelse genie Isaac Newton (1642-1727). In zijn meesterwerk *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ('Wiskundige principes van de natuurlijke filosofie') publiceerde Newton in 1687 zijn universele zwaartekrachttheorie, een van de belangrijkste pijlers van de moderne sterrenkunde.

Newton rekende ook voorgoed af met de kunstmatige scheiding tussen het ondermaanse en het bovenmaanse: op aarde en in het heelal gelden dezelfde natuurwetten. Verder ontdekte hij dat wit zonlicht uit verschillende kleuren bestaat, waarmee de basis werd gelegd voor de spectroscopie (zie pag. 38), ontwierp hij de eerste spiegeltelescoop en ontwikkelde hij ideeën over de oneindigheid van het heelal.



**ENGELS GENIE** Isaac Newton, hier op een schilderij van James Thornhill, was een van de grootste natuurkundigen uit de geschiedenis.



**OUDE EN NIEUW** Eerste foto van de maan uit 1852 en een computersimulatie van de vorming van clusters en superclusters.

## De ontwikkeling van de moderne sterrenkunde

**D**ankzij de ontwikkeling van steeds grotere en betere waarnemingsinstrumenten drongen sterrenkundigen in de loop van de achttiende en negentiende eeuw steeds verder door in het heelal. In het zonnestelsel werden nieuwe planeten, manen, planetoïden en kometen ontdekt, en grote waarnemers zoals William Herschel (1738-1822) legden catalogi aan van duizenden dubbelsterren, veranderlijke sterren en nevelvlekken.

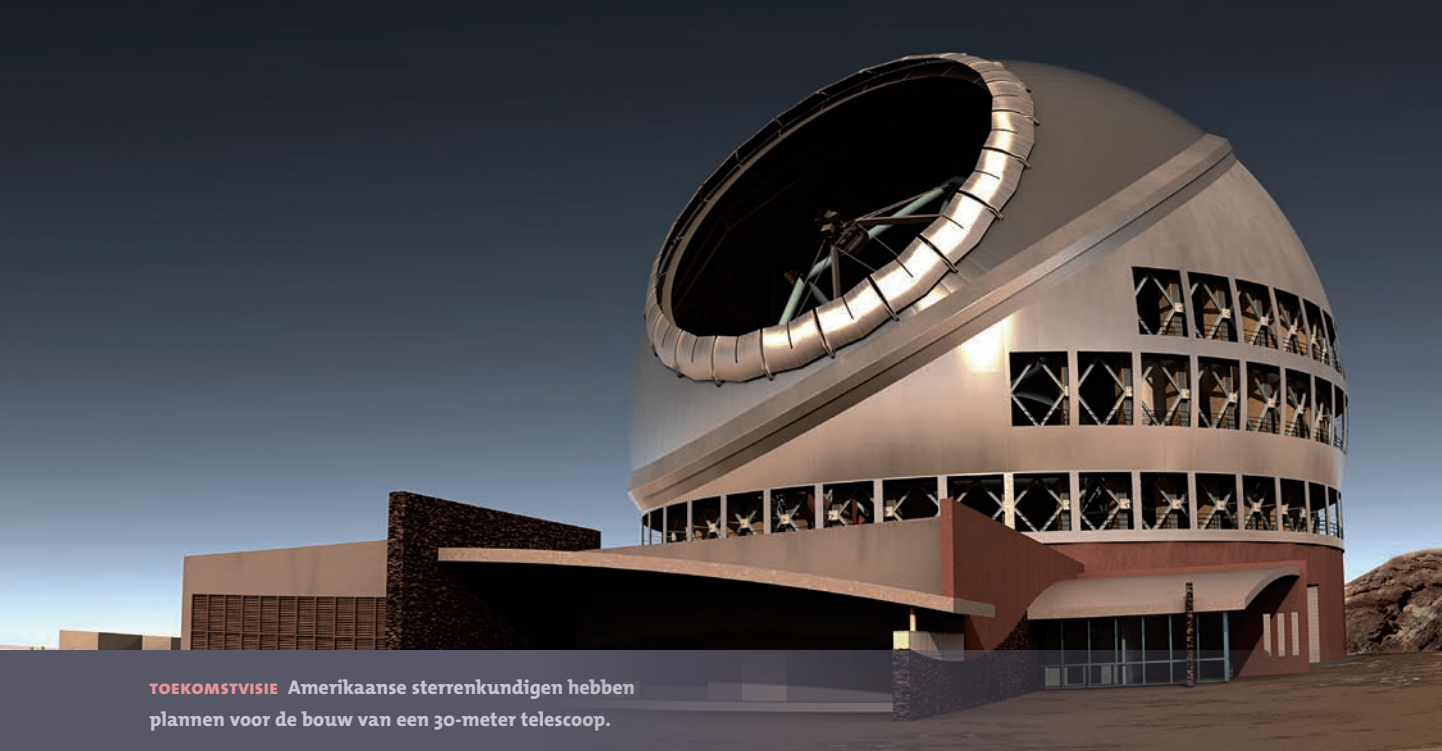
De astrometrie (het nauwkeurig vastleggen van de posities en bewegingen van hemellichamen) maakte het mogelijk de eigenbeweging van sterren aan de hemel te meten en de afstanden tot nabijgelegen sterren te bepalen. Die metingen vormden uiteindelijk de basis voor het onderzoek aan het Melkwegstelsel, waar onze eigen zon deel van uitmaakt. Ook de ontwikkeling van de fotografie en de spectroscopie was van groot belang voor de sterrenkunde. Op lang belichte opnamen zijn extreem zwakke objecten te zien en het spectroscopisch onderzoek aan het licht van een hemellichaam biedt informatie over de scheikundige samenstelling.

### De blik verruimd

Grote doorbraken in de eerste helft van de twintigste eeuw waren de ontdekking van de ware aard van de talloze spiraalnevels aan de sterrenhemel, van de uitdijning van het heelal en van de energiebron van sterren. Pas halverwege de twintigste eeuw kwamen de astrofysica (de natuurkunde van sterren) en de kosmologie (het onderzoek aan het heelal als geheel) tot wasdom.

In de tweede helft van de twintigste eeuw vonden nog twee ingrijpende ontwikkelingen plaats, waardoor sterrenkundigen hun blik letterlijk en figuurlijk enorm verruimd. De eerste revolutie was de ontsluiting van het elektromagnetisch spectrum: met behulp van nieuwe instrumenten en detectoren was het mogelijk onzichtbare straling vanuit de kosmos te bestuderen, zoals radiostraling, infrarode straling, ultraviolette straling en röntgenstraling.

Van minstens zo groot belang was de opkomst van de ruimtevaart, waardoor het mogelijk werd instrumenten buiten de aardse dampkring te brengen en zelfs op bezoek te gaan bij hemellichamen in ons eigen zonnestelsel. Hoewel grote



**TOEKOMSTVISIE** Amerikaanse sterrenkundigen hebben plannen voor de bouw van een 30-meter telescoop.



**REISDOEL PLUTO**

Ruimtevaart maakt een bezoek aan andere hemellichamen mogelijk. De ruimtesonde New Horizons gaat hier op weg naar Pluto.

## Sterrenkunde in de 21<sup>e</sup> eeuw

Net als in veel andere wetenschapsgebieden heeft de intrede van de computer een onvoorstelbaar grote invloed gehad in de astronomie. Die invloed is driedelig. In de eerste plaats maken geavanceerde computertechnieken het mogelijk om veel grotere en gevoeliger instrumenten te bouwen. Momenteel wordt gewerkt aan de bouw van telescopen met spiegelmiddellijnen van tientallen meters, waarbij supersnelle computersturing wordt toegepast voor het compenseren van hinderlijke trillingen in de aardse dampkring. De grote rekenkracht en de enorme opslagcapaciteit van de huidige computers maken het ook mogelijk om gigantische hoeveelheden waarnemingsgegevens te catalogiseren en te analyseren. Sterrenkundigen hebben zelfs 'virtuele sterrenwachten' gebouwd, waarin vele miljoenen gigabytes aan informatie liggen opgeslagen voor nader onderzoek. Tot slot is de computer een onmisbaar hulpmiddel voor theoretici. Om de structuur en evolutie van sterren, sterrenstelsels en het heelal als geheel beter te begrijpen, voeren astronomen computersimulaties uit van bijvoorbeeld de vorming van superclusters, de botsing van twee sterrenstelsels en de supernova-explosies van zware sterren. Door de resultaten van zulke simulaties te vergelijken met de waargenomen werkelijkheid, komen ze de ware aard van de kosmos op het spoor.

telescopen op aarde nog steeds onmisbaar zijn, is het ruimteonderzoek niet meer weg te denken uit de astronomie.