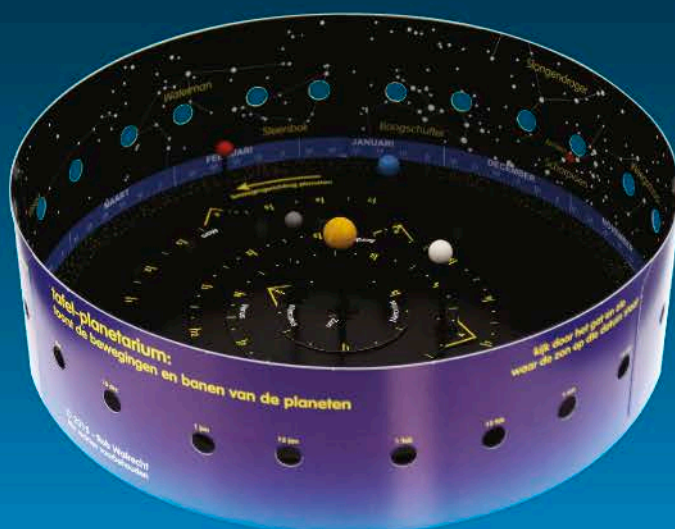
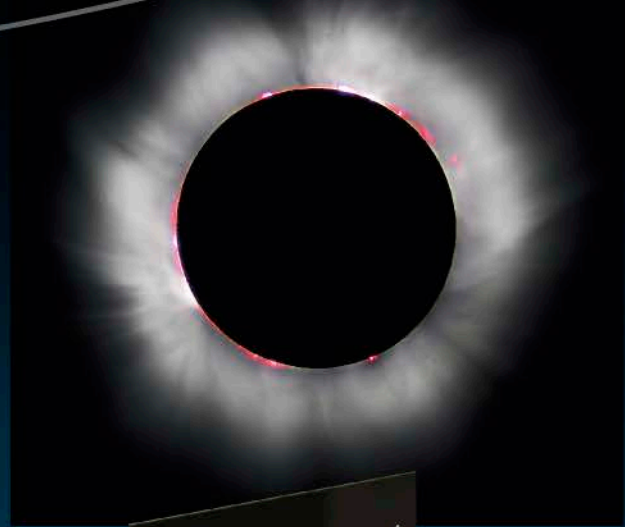


# Astroset

## Maan en planeten

### Gebruikshandleiding



# Leer de bewegingen aan de hemel begrijpen

Dit is de handleiding voor het gebruik van de **Astroset Maan en Planeten**.

Er zijn twee versies van deze set: de standaard set MDL-MPL, met de vijf bouwplaten (A3 formaat, waarvan twee dubbelzijdig), en de luxe MDL-MPL-Lux, die naast de bouwplaten ook alle benodigde houten kralen en stokjes bevat.

Deze handleiding wordt aangepast als er onduidelijkheden zijn en op basis van nieuwe ideeën en inzichten.

Je vragen en opmerkingen zijn daarom altijd zeer welkom!

Stuur ze naar [info@walrecht.nl](mailto:info@walrecht.nl).

**Meer informatie op:**  
[www.walrecht.nl](http://www.walrecht.nl)

## Gebruik van de handleiding

In deze handleiding worden vette en cursieve teksten gebruikt met een specifiek doel.

Buiten de kopjes worden alle begrippen die daar ook worden uitgelegd vetgedrukt weergegeven.

Wordt een begrip elders gebruikt, dan wordt dat cursief getoond, om aan te geven dat het elders wordt uitgelegd. Waar dat is vind je dan in de index, achterin.

**Hiernaast:** de maan lijkt in de loop van een maand steeds van vorm te veranderen. Dat zijn de fasen of schijnvormen van de maan.

**Daaronder:** een conjunctie, of samenstand, van Venus en Jupiter, begin juli 2015. Mars was ook in de buurt maar is op deze resolutie niet te zien. Conjuncties zijn prachtig na te bootsen met het Tafelplanetarium. Foto © Marek Nikodem.

**Onderaan:** met het Aarde-Maan model kun je heel mooi zons- en maansverduisteringen nabootsen. Hiernaast zie je een serie foto's van een maansverduistering op 15 april 2014, gemaakt door de in mijn kringen beroemde 'Mr. Eclipse' Fred Espenak. Ze zijn over elkaar heen gelegd om de maan op verschillende momenten rond het maximum van de verduistering te laten zien.

## Inleiding

### De Astroset Maan en Planeten

De Astroset is gemaakt om de bewegingen van de maan en de planeten beter te leren begrijpen, of aan anderen te illustreren, en is daarom ook erg geschikt voor scholen. Het zijn geen mechanische modellen, dus er zitten geen 'tandwielen' bij.

De set bestaat uit het Tafelplanetarium, het Aarde-Maan model, een ellipseninstrumentje en een speciale liniaal om de afstanden te bepalen tot de planeten in het Tafelplanetarium (ook planeten die niet worden weergegeven). De Astroset Maan en Planeten bestaat uit vijf kleurenplaten, waarvan twee dubbelzijdig. Daarnaast is wat extra materiaal nodig, zoals houten kralen en houten stokjes, punaises en grijs karton. Overigens bevat de luxe versie (zie kader) al die kralen en stokjes.

### Meer informatie

Het boek *Genieten van de sterrenhemel* (zie achterin voor meer informatie) is een inleiding in de sterrenkunde en vertelt onder andere alles over de hemelmechanica: de bewegingen van de hemellichamen aan de sterrenhemel. Het is dus bij uitstek geschikt om je nog meer te verdiepen in de bewegingen van de zon, de maan en de planeten. Veel van de illustraties in deze handleiding komen uit dat boek.

### Meer informatie over het zonnestelsel

Het boek *Genieten van het zonnestelsel* (zie achterin) vertelt meer over de natuurkundige kenmerken van de zon, de planeten en alle andere leden van het zonnestelsel.

### Aarde-Maan model

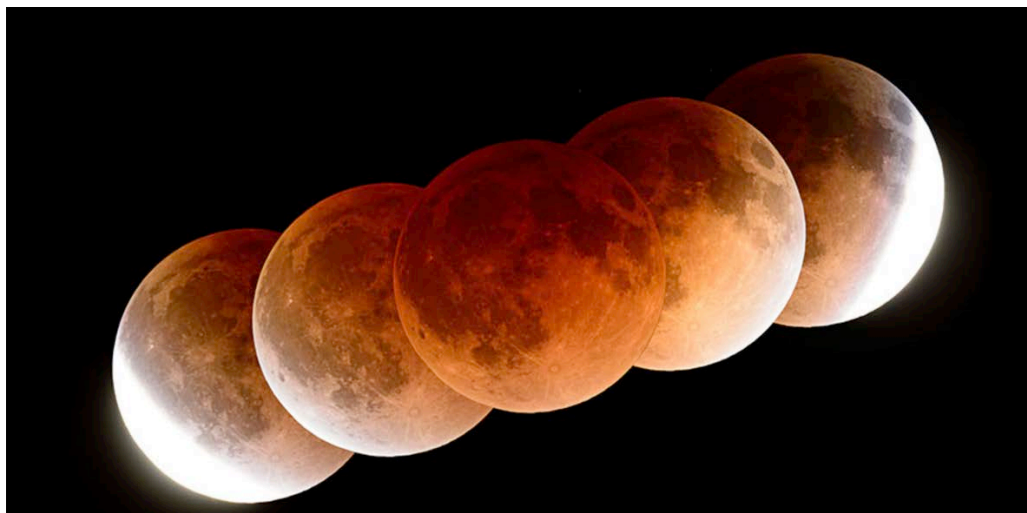
Met het Aarde-Maan model kun je de belangrijkste aspecten van de beweging van de maan om de aarde leren begrijpen: waarom lijkt de maan in de loop van een maand steeds van vorm te veranderen (de maanfasen, zoals nieuwe maan en eerste kwartier) en hoe ontstaan zons- en maansverduisteringen?

Het is een heel eenvoudig instrument, dat officieel een **tellurium** wordt genoemd.

### Tafelplanetarium

Met het Tafelplanetarium leer je alles over de bewegingen van de planeten om de zon, en aan de sterrenhemel. Zo kun je zien in welke richting de planeten om de zon bewegen; hoe de zon en de planeten ten opzichte van de sterrenhemel in oostwaartse richting bewegen, maar soms juist een tijdje de 'verkeerde kant' op gaan; wat de dierenriem is; en wat belangrijke posities zijn in de banen van de planeten, gezien vanaf de aarde, waardoor we ze soms heel goed en soms niet zien.

Het Tafelplanetarium bevat alleen de zon en de planeten die het dichtst bij de zon staan: Mercurius, Venus, Aarde en Mars. Die zijn voldoende om planeetbewegingen te begrijpen.



# Het Aarde-Maan model

## Het Aarde-Maan model

### Bewegingen van de maan

Dit model is bedoeld om te leren begrijpen hoe het zit met de beweging van de maan om de aarde, de *fasen* of *schijngestalten* van de maan en zons- en maansverduisteringen.

Het model toont hoe de maan om de aarde beweegt, in ongeveer een maand tijd. Als we boven de noordpool van de aarde zouden zweven beweegt de maan tegen de wijzers van de klok in (de planeten bewegen ook in die richting, omdat dat de richting was waarin de wolk gas en stof bewoog waaruit de zon en de planeten ontstonden).

De maan en de planeten bewegen dus in oostelijke richting, tegen de achtergrond van de sterren. Dat klinkt misschien vreemd omdat de sterren, de zon, de maan en de planeten allemaal opkomen in het oosten en ondergaan in het westen. Maar dat is als gevolg van de draaiing van de aarde om haar as, en die is óók tegen de wijzers van de klok in. Wij bewegen dus allemaal in de richting van Rusland! Dat is geen probleem overigens, de Russen bewegen even snel dezelfde kant op...

### Het model

Het Aarde-Maan model laat alle aspecten van de beweging zien, behalve de ellipsvorm van de maanbaan (dat is op deze manier niet weer te geven) en de helling van de maanbaan. Dat is op deze manier niet mogelijk.

### De maanfasen

Om de maanfasen, of schijngestalten van de maan, na te bootsen heb je een goede zaklantaarn nodig. Die speelt de zon. Je schijnt ermee door het ronde gat aan de voorzijde van het model, terwijl er niet teveel ander licht is. De modellen van de aarde en de maan worden uiteraard aan één kant verlicht, net als in het echt. Probeer steeds de 'maan' te bekijken vanuit de richting van de 'aarde'.



Zet nu de maan tussen de aarde en de zon (dus de zaklamp) in. Dat is de situatie van **nieuwe maan** (zie de tekening rechtsonder). Als je de maan nu uit de richting van de aarde bekijkt zie je de onverlichte kant van onze buur. Je ziet de maan in het echt dan ook niet (tenzij zij voor de zon langs gaat, maar dan gaat het om een *zonsverduistering*).

Vervolgens beweeg je het maantje voorzichtig met een vinger tegen de wijzers van de klok in rond de aarde. Je krijgt dan alle maanfasen die je in het echt kunt zien. De bekendste zijn eerste kwartier, volle maan en laatste kwartier.

### Van sikkel tot volle maan

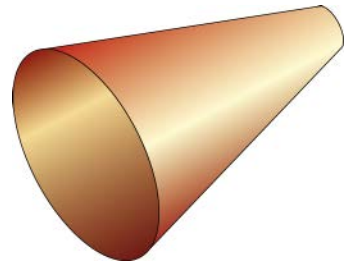
De eerste dagen daarna zien we een smal strookje van de maan: de **maansikkel**. Als je geluk hebt zie je ook het donkere deel van de maan heel zwak, als een donkergrijs vlak. We noemen dit het **asgraauw schijnsel**, of **aardlicht**. Het komt door het zonlicht dat door de aarde wordt weerkaatst en zo de maan een beetje verlicht.

Het lijkt of de maan in de volgende dagen aan de rechterkant aangroeit en we spreken daarom van **wassende maan** (*wassen* betekent aangroeien; denk ook maar aan het wassende water, als het vloed wordt).

Ongeveer een week na nieuwe maan heeft onze satelliet een *kwart* van haar baan om de aarde afgelegd en wordt de rechterhelft van de maan verlicht. Deze 'halve' maan noemen we **eerste kwartier**.

### Schaduwkegels

Als de zon een bolvormig object, zoals een planeet of een maan, beschijnt is de schaduw ervan kegelvormig. Wat is een kegel? Nou, denk maar eens aan die mooie oranje pylonen die ze gebruiken bij wegwerkzaamheden of in de gymzaal:

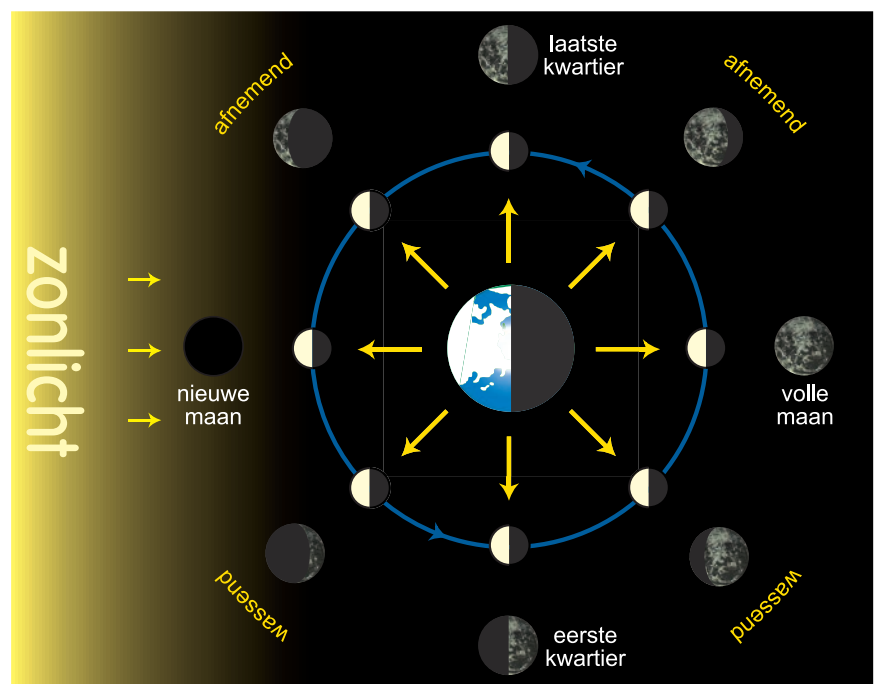


Alleen heeft een kegel natuurlijk ook een punt.

De diameter van de aarde is bijna vier maal zo groot als die van de maan. De schaduwkegel van de aarde is daarom ook veel langer en een maansverduistering duurt ook langer dan een zonsverduistering. De lengte van de schaduwkegel van de aarde is gemiddeld 1.382.000 km, terwijl de gemiddelde afstand tot de maan 384.400 km is. De lengte van de schaduwkegel van de maan is 375.000 km

**Rechtsonder:** een collage van foto's van verschillende maanfasen. Foto: © Fred Espenak, 2012.

**Linksonder:** de fasen of schijngestalten van de maan.





# Het Aarde-Maan model

## Eerste of laatste kwartier

Een trucje om eerste en laatste kwartier te herkennen, is door een lijn te trekken langs de rechte kant van de vorm van de maan. Als je zo de letter 'b' kunt maken, is het eerste kwartier: de 'b' van het woordje 'begin'. Kun je er een 'd' van maken, dan is het laatste kwartier (de laatste letter van 'eind').

Het is trouwens ook zo dat een 'halve maan' die je 's avonds ziet altijd in het eerste kwartier, en een die je 's morgens vroeg ziet altijd in het laatste kwartier is.



Rechts: doordat de maanbaan ten opzichte van het vlak van de ecliptica ongeveer 5° scheef staat hebben we niet elke maand een zons- en een maansverduistering.

Hieronder: de typen verduisteringen. Die fraaie woorden 'umbra' en 'penumbra' betekenen resp. kernschaduw en bij schaduw (zie kader op de volgende pagina).

Zo'n twee weken na nieuwe maan staat de aarde tussen de maan en de zon in, waardoor de naar ons toe gerichte kant van de maan vol door de zon wordt verlicht: **volle maan**. Probeer dat maar eens met het model.

De maan lijkt hierna weer kleiner te worden, ook weer vanaf de rechterkant. We spreken nu van **afnemende maan**.

Circa drie weken na nieuwe maan zien we de maan weer half verlicht, nu de linkerkant: het is **laatste kwartier**. Tenslotte wordt het na weer week weer nieuwe maan. Zo gaat dat eeuwig door.

## Bijzondere nieuwe maan en volle maan

Zons- en maansverduisteringen (of *eclipsen*) komen voor als de zon, de aarde en de maan op één lijn staan. We kunnen een **totale zonsverduistering** zien wanneer de zon geheel door de maan wordt bedekt, en een **totale maansverduistering** als de maan geheel in de schaduw van de aarde 'verdwijnt' (zie kader).

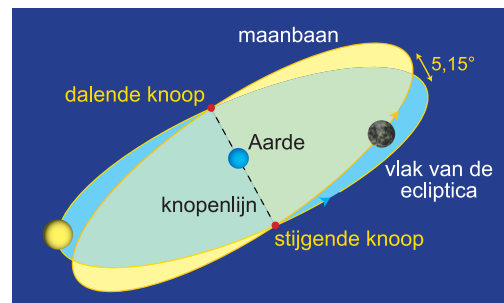
Meestal is de verduistering echter niet totaal en dan hebben we een **gedeeltelijke zons- of maansverduistering**. Aan de hemel lijken de zon en de maan ongeveer even groot. De zon is wel ongeveer 400 maal groter dan de maan, maar staat toevallig ook ongeveer 400 maal verder weg. Hierdoor kan de maan, als zij precies tussen de zon en de aarde in staat, de zon totaal verduisteren.

De maan werpt dan haar schaduw op de aarde (zie kader op pagina 5: *Kernschaduw en bij schaduw*).

De baan van de maan is echter elliptisch (zie hieronder), en soms staat de maan zo ver van de aarde af dat zij de zon niet helemaal meer kan verduisteren. Dan blijft op het maximum van de verduistering nog een ring van de zon zichtbaar: een **ringvormige zonsverduistering**. Maar... als verduisteringen voorkomen als de zon, de aarde en de maan op één lijn liggen, waarom kunnen we dan niet tijdens elke nieuwe maan een zons- en tijdens elke volle maan een maansverduistering bewonderen?

## Scheve maanbaan

Scheef is heel normaal in het heelal: de banen van de planeten en hun manen zijn allemaal **geheld** en ook nog eens **elliptisch** (zie kader pag. 10).



## Verduisteringen

**totale zonsverduistering**

waarnemer B: de zon is gedeeltelijk verduisterd

waarnemer A (in de totaliteitszone): de zon geheel bedekt door de maan

umbra (kernschaduw)

totaliteitszone

penumbra (bij schaduw)

**ringvormige zonsverduistering**

de maanschaduw bereikt de aarde niet

umbra

penumbra

waarnemer C: de maan bedekt de zon niet geheel

**maansverduistering**

aardschaduw

bij schaduw (penumbra)

kernschaduw (umbra)

de aardatmosfeer breekt het zonlicht, zodat dat alleen een deel van het rode licht de maan bereikt

umbra

penumbra

4

een maansverduistering is overal te zien waar de maan zichtbaar is, dus waarnemers D, E en F kunnen in dit geval de verduistering zien

# Het Aarde-Maan model

De baan van de maan om de aarde is ook geheld: ruim 5° ten opzichte van het baanvlak van de aarde, ofwel het *vlak van de ecliptica* (het vlak waarin de aarde om de zon beweegt). Zie het plaatje op pag. 4.

Het snijpunt van de maanbaan en de ecliptica noemen we een **knoop**. Er zijn twee knopen. In de **dalende knoop** duikt de maan van 'boven' (noorden) naar 'beneden' (zuiden) door het vlak. In de **stijgende knoop** stijgt de maan boven het vlak uit. De verbindingslijn tussen de knopen heet **knopenlijn**.

Alleen als de maan in een van die twee knopen is, is zij óók in het vlak van de ecliptica. En alleen dan kunnen de maan, de aarde en de zon precies op één lijn staan (en kan er een verduistering optreden). Hierdoor wordt de kans op een verduistering al een stuk kleiner. Eigenlijk is een totale maansverduistering dus de perfecte volle maan en een totale zonsverduistering de perfecte nieuwe maan!

De kans op een verduistering is dus niet zo groot, hoewel er jaarlijks minstens twee verduisteringen zijn, in dat geval allebei zonsverduisteringen. Er kunnen in een jaar maximaal zeven zons- én maansverduisteringen voorkomen.

## Zonsverduisteringen

Door de veel kleinere *schaduwkegel* van de maan is een totale zonsverduistering slechts in een klein, rond gebied op Aarde te zien. Dat gebied trekt een relatief smal spoor over de aarde dat vele duizenden kilometers lang kan zijn. We noemen dat de **totaliteitszone**. Tijdens de eclips van 1999, die in Europa was te zien, was de totaliteitszone maximaal 112 km breed. Door de beweging van de maan om de aarde én de aswenteling van de aarde is een totale zonsverduistering een zeer kort fenomeen: 2 tot 7,5 minuten. Zo'n lange verduistering komt eens in de 5000 jaar voor: de volgende is op 16 juli 2186.



Rondom de totaliteitszone is in een groot gebied een gedeeltelijke zonsverduistering zichtbaar. Hoe verder je weg bent van de totaliteitszone, hoe minder van de zon wordt verduisterd. Daar wordt het niet donker, want zelfs het kleinste streepje zonlicht is letterlijk oogverblindend. Dat is heel slecht voor je ogen, dus pas altijd goed op. Gebruik altijd een eclipsbril en **NOOIT** een zonnebril of een CD! Dergelijke 'hulpmiddelen' laten misschien minder zichtbaar licht door, maar infrarood wordt niet gehinderd.

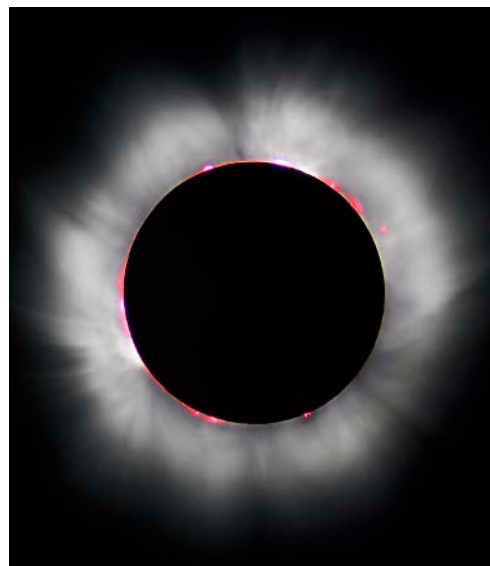
Tijdens een totale eclips zie je van alles op en rond de zon, maar daarvoor verwijz ik naar het boek *Genieten van het zonnestelsel* (zie pag. 14).

## Ringvormige zonsverduisteringen

De maan heeft, net als de planeten, een *elliptische* baan waardoor zij het ene moment verder weg staat dan het andere moment (zie kader pag. 10). De gemiddelde afstand van de maan tot de aarde is ruim 384.000 km, dus groter dan de gemiddelde lengte van de *schaduwkegel* van de maan. Meestal bereikt de schaduw van de maan de aarde dus niet eens! In die situatie bedekt zij vanaf de aarde gezien de zon niet helemaal en zien we nog de rand van de zon, als een ring: een *ringvormige zonsverduistering*.

## Maansverduisteringen

Als de aarde precies tussen de zon en de maan in staat, dan verdwijnt de maan in de schaduwkegel van de aarde en zien we een maansverduistering. Zonsverduisteringen komen wat vaker voor dan maansverduisteringen, maar de kans dat we een maansverduistering zien is veel groter. Die zien we namelijk op de halve aarde, want dan is het volle maan. Als de volle maan op is dan is de zon natuurlijk onder. Een maansverduistering zie je dus alleen als het (bijna) donker is, maar dan wel overal waar het dan donker is! En als het helder is uiteraard...



## Kernschaduw en bij schaduw

De schaduw van een object bestaat in feite uit twee delen. Het deel waar de schaduw het donkerst is noemen we de **kernschaduw**. Als je tijdens een zonsverduistering in die kernschaduw bent zie je de zon totaal verduisterd. Als de maan in de kernschaduw van de aarde is, is ze niet helemaal donker: je ziet een roodachtige kleur (zie hieronder). Het rode deel van het zonlicht wordt namelijk door de dampkring van de aarde zo gebogen dat dat nog wel onze satelliet bereikt. De **bij schaduw** is waar nog wel wat zonlicht komt, omdat de zon geen licht-puntbron is, maar een bol. Hier komt nog gewoon zonlicht (dus alle kleuren), maar dan wel wat minder dan normaal.

## Slecht zien in rood licht

We zien rood in het donker erg slecht. Dat komt omdat we twee soorten lichtgevoelige cellen in onze ogen hebben: de niet erg lichtgevoelige **kegeltjes** (die hebben veel licht nodig om geactiveerd te worden), waarmee we goed kleuren zien; en **staafjes**, die lichtgevoeliger zijn maar geen kleuren kunnen onderscheiden. Ze zijn óók ongevoelig voor de rode golflengten. Als je in het donker wit licht gebruikt hebt kan het een kwartier duren voor je weer goed in het donker ziet. Bij rood licht heb je dat niet. Gebruik dus bij het bekijken van de planisfeer in het donker een rood lampje!

## Maximum

De situatie of het moment dat een verduistering het meest compleet is, dus als de maan precies voor de zon is, of juist het diepst in de aardschaduw, noemen we het **maximum**.

**Linksonder:** de verduisterde maan is koperrood van kleur. We zien dat echter nauwelijks omdat we rood licht in het donker slecht zien (zie kader op pag. 10). De term 'Blood Moon' is erg overdreven, typisch Amerikaans.

Foto: © Jens Hackmann, 2007.

**Rechtsonder:** de verduisterde zon zien is een zeer bijzondere ervaring. Ik zag de verduistering van 1999, in de buurt van het Oostenrijkse Salzburg. Midden op de dag wordt het donker, zie je de helderste sterren aan de hemel en rondom in de verte de schemering.

# Het Tafelplanetarium

## Binnen- en buitenplaneten

We kennen planeten die dichterbij de zon staan dan de aarde, de binnenplaneten (Mercurius en Venus), en planeten die verder weg staan dan de aarde, de buitenplaneten. Planeten bewegen in banen om de zon, net als de aarde. En allemaal bewegen ze tegen de wijzers van de klok in, als je van boven op de zon kijkt. Dat is de normale bewegingsrichting van alle (dwerk-)planeten en alle grote manen in het zonnestelsel. Dat betekent dat de planeten en de maan allemaal een oostwaartse beweging hebben, tegen de achtergrond van de vaste sterren. Bij de binnenplaneten zie je al na enkele dagen dat ze duidelijk naar het oosten bewegen, bij de buitenplaneten duurt dat langer.

**Hieronder:** als je in het vlak van de planeetbanen kijkt zie je dat de planeten op ongeveer één lijn liggen.

**Midden:** de vlakken van de ecliptica en de evenaar.

**Linksonder:** doordat de aarde elke dag een stukje verder om de zon beweegt, schuift de zon elke dag een stukje op ten opzichte van de vaste sterren.

## Het Tafelplanetarium

### De bewegingen van Zon en planeten

Met het Tafelplanetarium leer je alles over de bewegingen van de planeten om de zon, en aan de sterrenhemel. Zo kun je zien in welke richting de planeten om de zon bewegen; hoe de zon en de planeten ten opzichte van de sterrenhemel in oostwaartse richting bewegen, maar soms juist een tijdje de 'verkeerde kant' op gaan; wat de dierenriem is; en wat belangrijke posities zijn in de banen van de planeten, gezien vanaf de aarde, waardoor we ze soms heel goed en soms niet zien. Het Tafelplanetarium bevat alleen de zon en de planeten die het dichtst bij de zon staan: de binnenplaneten (zie kader) Mercurius en Venus, Aarde en de buitenplaneet Mars. De andere planeten zijn ook buitenplaneten en hebben wat hun banen en posities kenmerken zoals Mars.

We zullen eerst wat begrippen behandelen die van belang zijn om het Tafelplanetarium te begrijpen en te gebruiken.

### Oostwaarts

Alle planeten en de meeste andere zonnestelselobjecten bewegen in dezelfde richting om de zon, van boven de zon gezien is dat tegen de wijzers van de klok in. Dat is dus in oostwaartse richting. Ook bewegen de grote manen, zoals onze Maan, op die manier rond

hun planeet. Dat alles heeft te maken met hoe het zonnestelsel ontstond, uit een grote schijf van gas en 'stof' (kleine deeltjes van metalen, gesteenten, water, ammoniak, methaan en meer) die op die manier rond de zon bewoog. In de loop van de tijd bewegen de planeten en de maan dus in oostwaartse richting, evenals de zon trouwens, maar dat komt door de omloopbeweging van de aarde! (De beweging van een planeet om een ster, of een maan om een planeet, noemen we de omloop.)

### Sterrenbeelden van de dierenriem

De omlooperperiode van de aarde is  $365\frac{1}{4}$  dagen, ofwel één jaar. Voor het gemak houden wij dat op 365 dagen. Elke complete dag legt de aarde dus  $\frac{1}{365}$ e deel van zijn baan om de zon af. En zien we de zon een klein stukje opschuiven tegen de achtergrond van sterren! Zie de illustratie. En dat is van west naar oost, omdat ook de aarde tegen de wijzers van de klok in beweegt; ook dat is goed te illustreren met het Tafelplanetarium.

Gedurende een jaar 'bewandelt' de zon zo een heel nauwkeurig bekende 'zonsweg'. Je kunt dat echter niet zien, want overdag zie je geen sterren! De zon, onze ster, is véél te helder en overstraalt alle andere sterren! Je kunt wel de helderste sterren zien tijdens een totale zonsverduistering, of eclips, als de zon achter de maan schuilgaat en het midden op de dag heel even donker wordt.

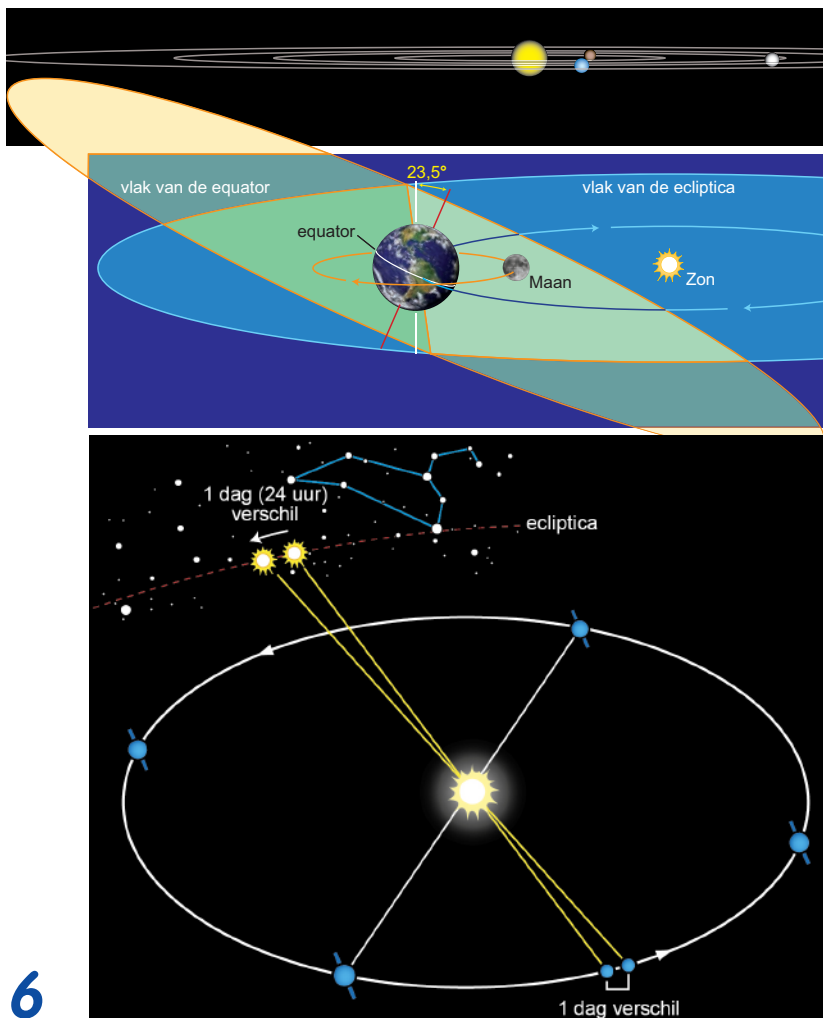
### De ecliptica

Omdat we die eclipsen natuurlijk altijd langs de zonsweg zien, noemen we de baan van de zon ook wel de ecliptica: de 'eclipsen-weg'. De ecliptica loopt dwars door twaalf bekende sterrenbeelden: de sterrenbeelden van de dierenriem (zoek ze maar eens op). Deze sterrenbeelden (op de Weegschaal na dieren of mensen, vandaar de naam) danken hun bekendheid aan het feit dat ze ieder jaar door de zon worden 'bezocht'. Slechts enkele ervan zijn echt opvallende sterrenbeelden, zoals de Tweelingen en de Leeuw. Astrologen hechten grote waarde aan deze 'tekens van de dierenriem', hoewel de werkelijke plaats van de zon aan de hemel al lang niet meer klopt met de plaats volgens de astrologie. Verder beweegt de zon een week door de Schorpioen, en daarna drie weken door de Slangendrager: een dertiende sterrenbeeld van de dierenriem dus!

### Het vlak van de ecliptica

Alle banen van de planeten en van de manen van die planeten zijn scheef. Er is in het heelal helemaal niets dat perfect rond is, of keurig rechtop staat. Maar wat is nu eigenlijk scheef in het heelal?

In huis kun je een schilderij recht ophangen omdat je uit kunt gaan van de (rechte!) vloer,





# Het Tafelplanetarium

muren en plafond. In de ruimte is geen onder of boven en al helemaal geen rechte vloer om vanuit te gaan.

Daar hebben de astronomen wat op gevonden. Ze hebben een soort denkbeeldige 'vloer' bedacht, uitgaande van de baan van de aarde om de zon. Als je een schijf bedenkt met die baan als rand krijg je een **plat vlak**. Maar aangezien het een denkbeeldig vlak is kun je het zo groot 'maken' als je wilt: het is oneindig! Er zijn overigens meer van die vlakken, zoals het galactisch vlak (van het Melkwegstelsel).

Dat we de zon langs de ecliptica zien bewegen (zie verder) heeft ook te maken met de aardbaan. Daarom noemen we dit het vlak van de ecliptica. Bijna alle planeten bewegen grofweg in dat vlak, net als kniekers die over een vloer rollen (alleen Pluto en andere kleinere objecten kunnen ver boven of onder dit vlak komen). Daarom vinden we de meeste planeten ook altijd in de buurt van de ecliptica. Dat betekent dat de zon regelmatig bij een of meer planeten staat, waardoor die planeten niet of nauwelijks zichtbaar zijn: de zon is daarvoor te helder!

## Binnenplaneten

Binnenplaneten staan altijd in de buurt van de zon. Daarom kunnen we ze nooit midden in de nacht zien. Mercurius staat zó dicht bij de zon dat we hem ook aan de hemel altijd in de buurt van de zon moeten zoeken. Hij komt op zijn best ongeveer  $28^\circ$  links of rechts van de zon te staan. Dan komt hij ongeveer 2 uur en 15 minuten vóór de zon op, of gaat hij juist zoveel tijd na de zon onder. Dat zijn de beste momenten om het planeetje te zien, want meestal wordt hij door de zon overstraald.

Venus is de tweede planeet vanaf de zon en kan daarom ook aan de hemel verder van de zon staan: maximaal  $47,8^\circ$ . Hoewel de planeet zo helder kan zijn dat je haar zelfs overdag kunt zien, als je weet waar je moet zoeken, valt Venus vooral op als de hoekafstand groot is (zie kader volgende pagina). Dan zien we Venus tot ruim 4 uur na zonsondergang

('Avondster') of voor zonsopkomst ('Morgenster'). Zie ook de illustratie hieronder.

De hoekafstand tussen twee hemellichamen aan de hemel noemen we ook de **elongatie**. Als een binnenplaneet aan de sterrenhemel het verst van de zon staat dan is de planeet in **grootste elongatie**. Je hebt **grootste westelijke elongatie** en **grootste oostelijke elongatie**.

## Conjunctie

Wanneer een planeet in dezelfde richting staat als de zon, spreken we van **conjunctie**. Bij de binnenplaneten zijn er twee mogelijkheden: **benedenconjunctie**, als de planeet tussen de aarde en de zon in staat; **bovenconjunctie** als de planeet aan de andere kant van de zon staat (dus áchter de zon!).

Mercurius en Venus kunnen als enige planeten ook voor de zon langs bewegen, als een donkere stip. Dat noem je een **overgang** of **transitie**. In 2004 en 2012 waren er **Venusovergangen** te zien. Deze zijn erg zeldzaam omdat de baan van Venus  $3,5^\circ$  geheld is, en Venus vanaf de aarde gezien dus meestal boven of

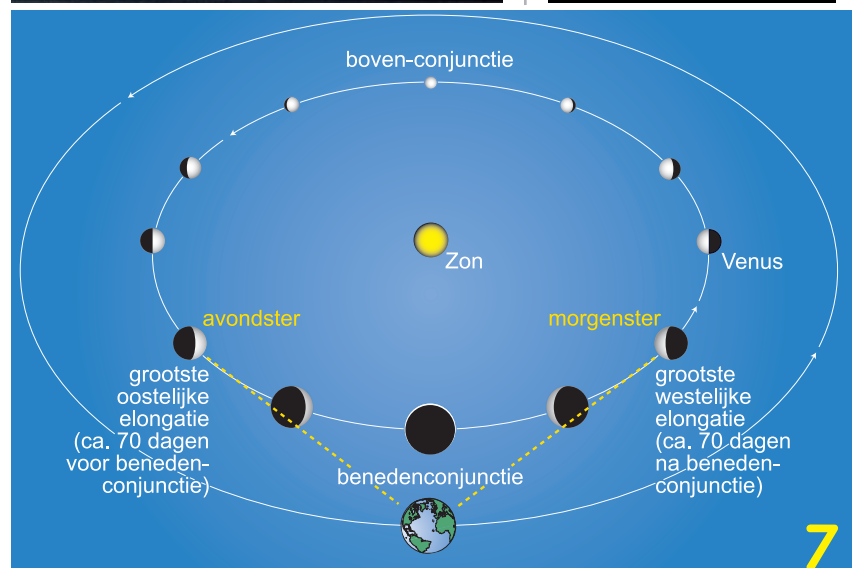
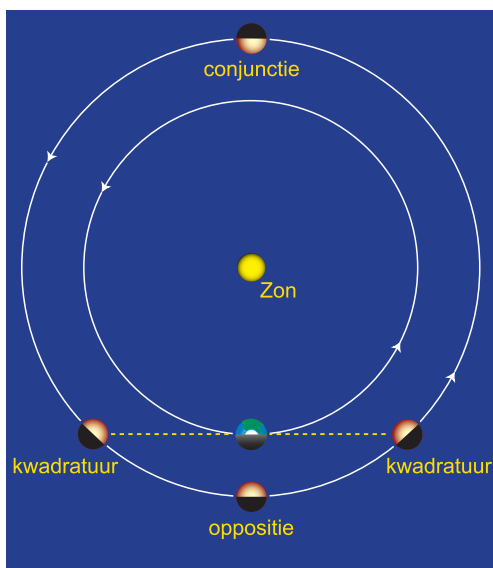
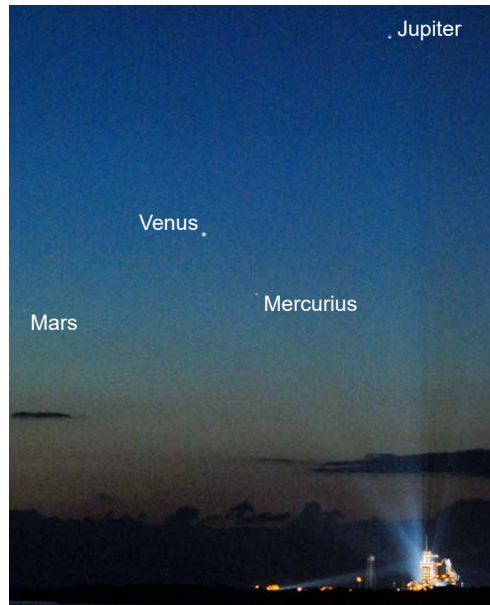
**Linksonder:** de baan van een buitenplaneet met de belangrijkste posities.

In **kwadratuur** staat de planeet aan de hemel op  $90^\circ$  afstand van de zon (te vergelijken met eerste en laatste kwartier bij de maan). Voor buitenplaneten is dit echter niet boeiend omdat oppositie per definitie het beste moment is om zo'n planeet te bekijken. Een binnenplaneet kan nooit in kwadratuur zijn. Waarom niet?

**Midden:** soms staan meerdere planeten aan de hemel bij elkaar. Hier zie je een conjunctie van vier van de vijf met het blote oog zichtbare planeten, vlak voor de lancering van de Space Shuttle Endeavour, op 16 mei 2011. Mars is hier erg slecht te zien. Die was pas in conjunctie geweest met de zon en staat dus ver weg. Dat geldt ook voor Jupiter maar die planeet is veel groter dus meestal helderder dan Mars.

**Rechtsboven:** net als de maan kent Venus schijngestalten, of **fasen**. Dus ook de sikkelvorm, als de **hoekafstand** (zie kader pag. 8) tussen Venus en de zon groot is.

**Rechtsonder:** de baan van de planeet Venus met daarin de belangrijkste posities van een binnenplaneet, zoals **boven- en benedenconjunctie** en de twee grootste elongaties.



# Het Tafelplanetarium

## De hoekafstand

Om de onderlinge afstand aan de hemel tussen twee sterren aan te geven gebruik je de **hoekafstand**. Dat is de hoek tussen de richtingen van beide sterren vanaf de aarde gezien, en uitgedrukt in graden. Elke graad is verdeeld in 60 boogminuten (symbool: ') en elke boogminuut in 60 boogseconden ("). De zon en de volle maan hebben aan de hemel een (schijnbare!) diameter van 31', of 0,5°. Een Euromunt heeft op 5 km afstand een grootte van een boogseconde!

Dus als gezegd wordt dat een planeet vlakbij een ster staat (een conjunctie dus), betekent dat dat ze **aan de hemel dichtbij elkaar staan**, dat het verschil in uurhoek heel klein is.

**Rechtsboven:** een serie foto's van Venus, gemaakt tussen 27 februari en 8 juni 2004, met steeds dezelfde vergroting. Je ziet Venus niet in bovenconjunctie (dat was op 18 augustus 2003), maar als de uurhoek tussen Venus en de zon al flink groter is. De Venus rechtsonder is tijdens de Venusovergang van 2004! **Hieronder:** het ontstaan van de planeetlussen van Mars.

onder onze ster langs trekt. Alleen als Venus of Mercurius in de buurt van een knoop staan kunnen wij een overgang zien.

Mercurius is aan de hemel ongeveer 12" (zie kader) in diameter, Venus 58". Ter vergelijking: de maan is gemiddeld ca.1800 boogseconden in diameter, ofwel een halve graad!

## Venusfasen

Gedurende de omloop van Venus om de zon zien we vanaf de aarde steeds een ander stukje van het verlichte halfrond. De tekening op de vorige pagina laat dat goed zien. Venus kent dus **fasen**, net als de maan.

In bovenconjunctie zien we Venus vol verlicht, maar is ze toch slecht te zien. Niet alleen staat ze dan namelijk het verst van ons vandaan, ze wordt ook nog eens overstraald door de zon! In benedenconjunctie kijken we tegen de donkere kant van Venus aan en dat is natuurlijk ook geen goed moment om de planeet te bewonderen. De elongaties zijn dan ook de beste situaties om binnenplaneten te bekijken.

Daarbij spelen twee aspecten: de afstand van Venus tot de aarde, en de helderheid. Die laatste hangt af van hoe we haar verlicht zien. De serie foto's rechtsboven (zie ook kader) laat dat goed zien. Bij binnenplaneten zie je dat ze óf weliswaar grotendeels verlicht zien maar dat ze ver weg staan en dus aan de hemel klein staan; óf ze staan veel dichterbij de



aarde maar we zien slechts een smalle sikkel. Als Venus aan de hemel het helderst is, tijdens zo'n elongatie (in de fotoreeks hierboven was dat op 27 maart 2004), is dat omdat er sprake is van de beste 'mix' van afstand en verlichting.

## Buitenplaneten

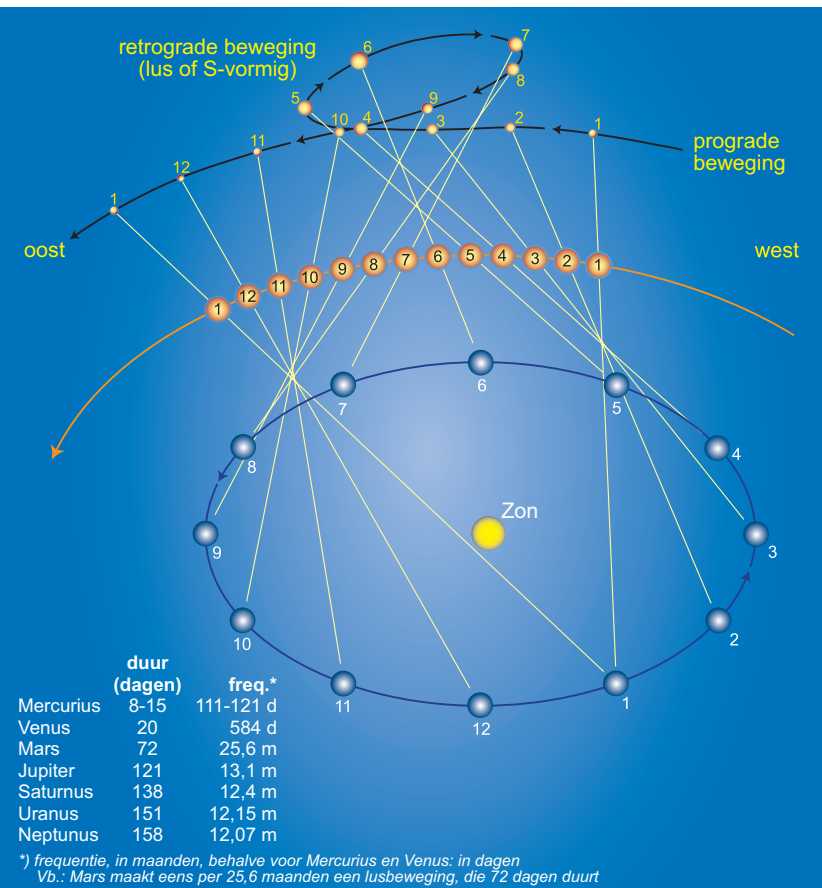
Buitenplaneten, zoals Mars en Jupiter, kunnen we wel midden in de nacht zien. Ze kunnen ook in conjunctie staan, maar natuurlijk nooit in benedenconjunctie, want een buitenplaneet kan nooit tussen de aarde en de zon in staan! In conjunctie is de afstand tot de aarde het grootst. De afstand is dan immers de afstand van de planeet tot de zon *plus* de afstand van de aarde tot de zon. Behalve dat de planeet dan heel ver weg is, staat hij (aan de hemel) ook nog eens vlakbij de zon, zodat we niet of nauwelijks kunnen zien.

Als een buitenplaneet in één lijn staat met de zon en de aarde, met de aarde tussen de zon en de planeet in, is die planeet in **oppositie**. De afstand tot de aarde is dan het kortst: de afstand van de planeet tot de zon min de afstand van de aarde tot de zon. Oppositie is dus het beste moment om een buitenplaneet te bekijken. Je begrijpt waarom een binnenplaneet nooit in oppositie kan staan.

## Lusbewegingen

Als een planeet stil aan de hemel zou staan, dus niet om de zon zou draaien, dan zou het tijdsverschil tussen conjunctie en oppositie precies een half jaar zijn. Maar door de oostwaartse beweging van de planeten is dat tijdsverschil veel groter. Als we de planeten een tijdje volgen en hun plaats ten opzichte van de zon bijhouden zien we dat ze om de zon heen lijken te 'dansen'.

Hun normale oostelijke beweging lijkt nu en dan vanaf de aarde gezien te stoppen (ze zijn

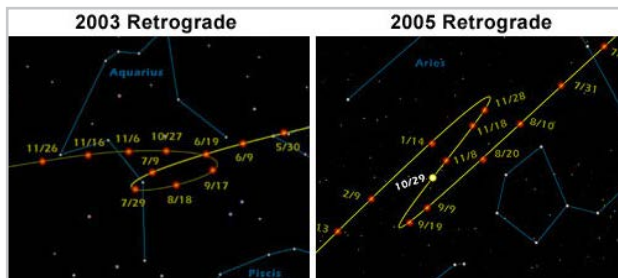




# Het Tafelplanetarium

dan **stationair**) en verandert vervolgens in een terugwaartse (dus westelijke) beweging. Dat gebeurt bij buitenplaneten rondom oppositie, bij binnenplaneten rond benedenconjunctie). We zeggen dan dat de planeet een **retrograde** beweging krijgt (dat betekent *terugwaarts*). Na een tijdje gaat de planeet weer zijn normale **prograde** beweging volgen.

We zien hierdoor een soort lusbeweging, hoewel het vaak meer een zigzag of 'S' beweging is. Bij de binnenplaneten is dat heel duidelijk omdat zij zulke korte omlooperperioden hebben. De lusbewegingen worden veroorzaakt doordat de aarde en de andere planeten met verschillende snelheden om de zon bewegen. De tekening hieronder laat de lusbeweging van Mars zien, waarbij de planeetposities per maand zijn aangegeven. Bij de andere buitenplaneten zien we hetzelfde, maar de lussen worden kleiner naarmate de afstand tot de planeet groter wordt. Zo loopt Mars aan de hemel ongeveer 19° terug, Jupiter 10° en Saturnus 7° (zie pagina 8). Mercurius en Venus maken de grootste lussen en doen dat ook nog eens aan de lopende band. Een volledige lusbeweging van Venus duurt 584 dagen.



## In de praktijk

### Werken met het model

Hoe gebruik je het Tafelplanetarium om al die sterrenkundige begrippen uit te leggen? We zullen dat stap voor stap behandelen.

### Normale planeetbewegingen

Wat heel belangrijk is, is dat de planeten allemaal in dezelfde richting om de zon bewegen: van boven de noordpool gekeken tegen de wijzers van de klok in. Dat is de reden waarom de planeten aan de hemel van west naar oost bewegen, maar natuurlijk met verschillende snelheden (hoe dichters een planeet bij de zon staat des te sneller hij beweegt). We komen hier nog op terug bij de *planeetlussen*.

### De ecliptica en de dierenriem

Verder moet je onthouden dat de planeten altijd in de buurt van de *ecliptica* zijn te vinden (zie pag. 6). Die vind je in het Tafelplanetarium als een rode stippellijn aan de binnenkant van de hoge rand. De ecliptica loopt door een groep beroemde sterrenbeelden: die van de *dierenriem*. Het zijn de sterrenbeelden waar de zon in de loop van het jaar doorheen beweegt. Dat zijn er trouwens dertien (zie pag. 6).

### Waar staat de zon?

Die rand heeft 24 gaten met boven elk gat een datum. Het leuke van het Tafelplanetarium is dat je door die gaatjes kunt zien in welk sterrenbeeld de zon op de vermelde datum staat. Zo kun je ook mooi de jaarlijkse beweging van de zon volgen, en de ecliptica beter begrijpen. Kijk je bijv. door het gaatje van 15 augustus dan zie je dat de zon op die datum in het sterrenbeeld de Leeuw staat, vlakbij Regulus! Zie plaatje op pag. 10. Als je op die dag jarig bent zul je misschien verbaasd zijn, maar het klopt. Wil je hier meer over weten: ons boek *Genieten van de sterrenhemel* vertelt daar alles over.

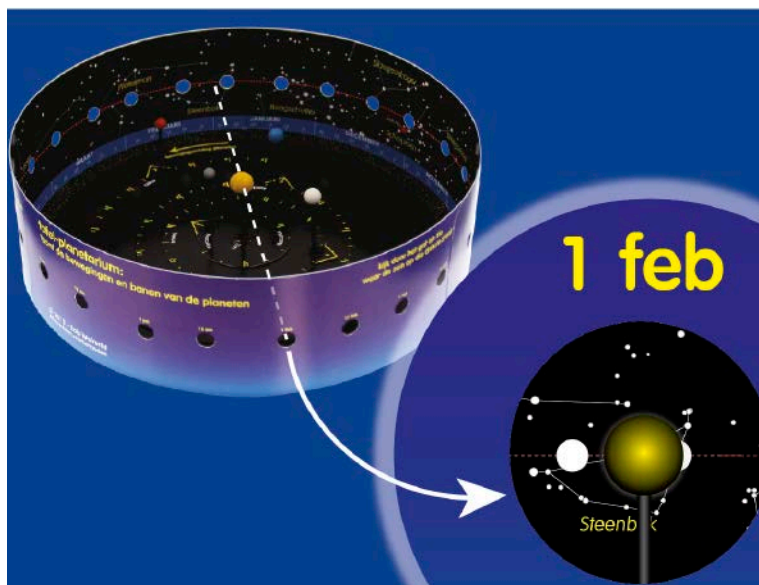
**Linksboven:** planeten kunnen, als ze retrograde bewegen, aan de hemel planeetlussen beschrijven, maar het kunnen ook S-vormen zijn. Hier zie je de 'wegen' langs de hemel die Mars aflegde in 2003 (links) en 2005. De ene is een duidelijke lus, de andere een 'S'. Je ziet ook dat Mars rond 27 of 28 juli 2003 stationair was, en op 18 september ook. Planeten bewegen normaliter oostwaarts, dus in beide illustraties komen ze van rechts. Credit: NASA/JPL-Caltech

**Linksonder:** als je de 'zon' in het Tafelplanetarium bekijkt door het gaatje van 1 februari, zie je dat hij op die datum in het sterrenbeeld Steenbok staat, een van de sterrenbeelden van de dierenriem.

Ben je 'een Steenbok'? Dan kun je dat sterrenbeeld natuurlijk niet aan de hemel zien staan... De zon is zo helder, die overstraalt alle andere sterren (behalve tijdens een eclips!).

Daarom is jouw sterrenbeeld nooit rond je verjaardag te zien. Bekijk je eigen sterrenbeeld altijd een half jaar later (of eerder...): de Steenbok zie je in de zomer het best!

**Rechtsonder:** een erg leuke en mooie opname van een conjunctie of samenstand van de heldere planeten Venus en Jupiter, op 1 juli 2015, vlak na zonsopgang. Foto Marek Nikodem (Bydgoszcz, Polen).



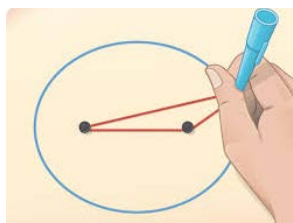
# Het Tafelplanetarium

## Elliptische banen

Banen, zoals de baan van de maan om de aarde of die van een planeet om de zon, zijn niet cirkelvormig maar elliptisch ('ovaal'). Een cirkel heeft een **middelpunt**: je kunt er een met een passer tekenen. Een ellips heeft geen middelpunt, maar twee **brandpunten**. Die kun je tekenen met bijvoorbeeld met twee punaises of spijkers in een vel papier op een plankje, en een touwtje waarin je de pen steekt. Zie de tekening hieronder. Als je de twee punaises vlak bij elkaar zet wordt het bijna een cirkel, plaats je ze verder van elkaar af krijg je een langgerekte ellips. Een **elliptische baan** heeft dus twee brandpunten en bij een planeetbaan staat de zon in een van die punten (het andere brandpunt is leeg). Dat betekent dat er altijd één punt is waarin een planeet het dichtst bij de zon staat, het **perihelium**; en er is er een dat er het verst vanaf ligt: het **aphelium** ('apo': 'weg van'; 'peri': 'nabij'; 'helium' komt van 'Helios': de zon). Het perihelium van de aarde ligt op ca. 147 miljoen km van de zon, het aphelium op ca. 152 miljoen km. Dat geeft de aarde de op twee na minst elliptische ('meest cirkelvormige') baan, na Venus en Neptunus.

Bij de baan van de maan om de aarde spreken we van het **perigeum** als de maan het dichtst bij de aarde staat (soms op 356.400 km), terwijl zij in het **apogeu**m het verst weg is (maximaal 406.700 km). Dat 'geum' staat voor de aarde, net als 'geo'.

Bij manen rond andere planeten spreken we van **periapsis** en **apoapsis**.



## Afbeelding hiernaast

Als je door het gaatje in de rand, bij 15 augustus, kijkt naar de 'zon' in het model, zie je dat de zon op die datum in de Leeuw staat.

## Oppositie, conjuncties en elongaties

Het is niet moeilijk om aan de hand van de plattjes op pagina's 7 en 8 met het Tafelplanetarium de belangrijke posities in een planeetbaan na te bootsen. Zet maar eens Venus in **beneden-** en daarna **bovenconjunctie** (zie pag. 7). Zet dan Venus in **grootste oostelijke elongatie** (de grootste hoekafstand die mogelijk is tussen Venus en de zon; zie pag. 7). Zet vervolgens Mars in **conjunctie** en **oppositie** (zie pag. 8). **Conjunctie** betekent **samenstand**, als twee of meer hemellichamen aan de hemel dichtbij elkaar staan: een planeet bij de zon of bij een andere ster, of twee planeten bij elkaar, of een planeet en de maan. Probeer dat ook maar eens uit met het Tafelplanetarium: plaats twee planeten, of een planeet en de zon, op zo'n manier dat ze vanaf de aarde (in het model!) gezien vlak naast elkaar staan.

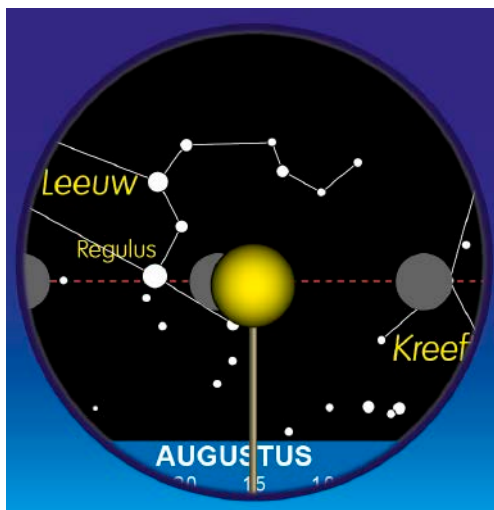
## Planeetlussen

De planeten bewegen langzamer om de zon naarmate ze verder van de zon staan. Zo beweegt Mercurius met 48 km/s, Venus 35, Aarde 30 en Mars 24 km/s. Ze hebben ook allemaal andere **omlooperperioden**. De omlooperperiode van de aarde is 365,25 dagen: een jaar. De andere omlooperperioden:

|           |                             |
|-----------|-----------------------------|
| Mercurius | 88 dagen                    |
| Venus     | 224 dagen en 17 uur         |
| Aarde     | 365 dagen en 6 uur          |
| Mars      | 1 jaar, 321 dagen en 17 uur |

Doordat ze andere omlooperperioden hebben halen de planeten elkaar nu en dan in. Het verschijnsel lijkt een beetje op als je in een stilstaande trein zit terwijl er een andere trein net vertrekt in de richting waarin je zit. Dan is het net of je zelf achteruit gaat!

Dit geeft het interessante verschijnsel dat een planeet, vanaf de aarde gezien, tijdelijk de verkeerde kant op beweegt (de **retrograde beweging**) en zelfs een lusbeweging maakt! Zie ook de serie illustraties op pagina's 12 - 14.



## Zelf planeetlussen 'maken'.

Als je de planeten (dus hun schijven) steeds allemaal een stukje zou opschuiven (roteren), op een manier die overeenkomt met de verschillen in omlooperperioden, kun je die planeetlussen simuleren en volgen. Je ziet dan hoe de oostwaartse beweging van de planeet stopt (hij is **stationair**), hoe de planeet **retrograde** gaat bewegen, **wéér stationair** wordt en dan weer de normale (**prograde**) beweging naar het oosten hervat. Dan moet je echter wel een soort kalender op de schijven hebben.

Voor dat doel hebben we een eenvoudige verdeelsleutel aangehouden (het gaat immers niet om wetenschappelijk onderzoek, maar een leuke en informatieve demonstratie!). Wat we gedaan hebben is alle schijven in aardse 'perioden' verdelen: de aardschijf is in twaalf delen verdeeld, de Mercuriusschijf in drie 'maanden', die van Venus in acht en die van Mars in 24. De verhouding is dus: 3 : 8 : 12 : 24. Hiermee valt prima te werken en deze verdeling zie je dus op de planeetschijven.

Op de bodem van de 'planetenbak' zie je een grote, dikke pijl. Dat is het referentiepunt, als je een schijf instelt doe je dat ten opzichte van die pijl.

## Planeetposities merken

Als je bezig gaat met de planeetposities ten opzichte van elkaar en aan de hemel en van moment tot moment heb je ook iets nodig om de posities aan de sterrenhemel aan te geven, te merken. Daarvoor zijn de pijltjes bedoeld. Die kun je over de rand van het Tafelplanetarium of de Mars-extensie schuiven. Je kunt daarmee erg nauwkeurig aan de gang, want de pijltjes zijn er van 1 tot 8 'maanden', maar ook voor elk van vier 'weken' in zo'n maand (de pijltjes zijn voor 1, 1/4, 1/2, 3/4 maanden, enz.). In de praktijk zul je de pijltjes met de breuken (4 1/2 e.d.) alleen maar gebruiken rond de twee momenten dat een planeet stationair is, om die momenten preciezer te bepalen.

## Aan de gang

Wat je moet doen is het volgende (zie de illustraties op de volgende pagina's). Steek voor Mars de speciale extensie in de bodem van het Tafelplanetarium. Voor Venus en Mercurius is dat niet nodig. Je hebt de pijltjes nodig, om de posities aan de hemel te **merken**, op de rand van het planetarium of van de Mars-extensie. Verder heb je een lang, dun stokje nodig om die posities te bepalen: vanaf het midden van de aarde gemeten. Want wij bekijken alles in het echt ook vanaf de aarde.

Op elke planeetschijf staan de maandnummers, voor de schijven van Aarde en Mars loopt die nummering niet helemaal door, omdat dat niet nodig is. De maandnummers staan bij een dikke lijn, tussen de maandnummers in staan



# Het Tafelplanetarium

dunnere streepjes: 'twee weken'. Behalve de schijf van Mars hebben ze ook nog punten, tussen de lijnen. Die zijn voor de 'weken' 1 en 3 ('week' 2 heeft immers al een dun lijntje). Zet nu de schijven van de planeet die je wilt gebruiken en de aarde op stand 1 (dus van beide richt je de '1' op de schijf naar die grote, dikke pijl bij de rand van het Tafelplanetarium). Met het stokje (of een grote liniaal) kun je het pijltje '1' op de juiste positie op de buitenrand of de extensie vastzetten. Schuif de beide schijven dan op naar stand 2 (of als je wilt een van de tussenstanden) en plaats pijltje '2' op de juiste plek. Doe dit zolang als je nodig acht (je ziet het vanzelf).

Als je dat doet zie je vanzelf de punten waarop de planeet *stationair* is en de *retrograde* beweging begint, dan weer *stationair* is en uiteindelijk zijn normale oostwaartse weg weer vervolgt. Je kunt geen echte planeetlussen namaken, omdat die ontstaan doordat de planeetbanen allemaal een beetje geheld zijn. In het Tafelplanetarium liggen alle planeten perfect in één vlak.

## Probleem elliptische banen

De banen van planeten en alle andere objecten in het zonnestelsel zijn geen mooie cirkels maar meer of minder *elliptisch* (zie kader op pag. 10). Elliptische banen in het zonnestelsel hebben de zon in een van de twee *brandpunten*, met een *perihelium* en een *aphelium*. Banen zijn dus ook excentrisch! Daarnaast kunnen ze ook nog geheld zijn, tot wel 44° bij de dwergplaneet Eris! Dat is natuurlijk niet in een eenvoudig Tafelplanetarium te laten zien.

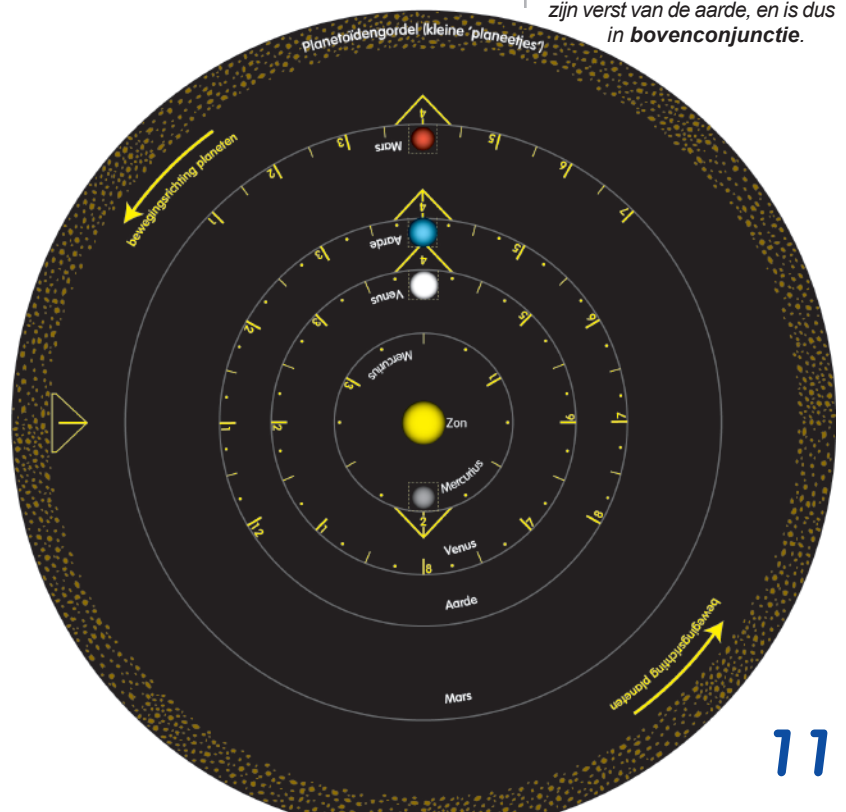
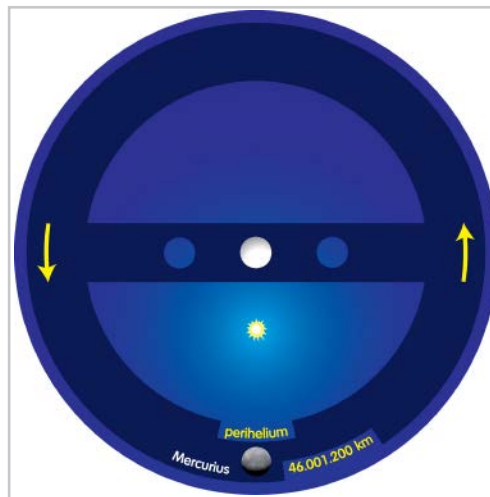
## Ellipsinstrument

Het is in een model als het Tafelplanetarium onmogelijk om elliptische banen te tonen. Een ellips heeft geen *middelpunt*, waar je eenvoudig een punaise in kan drukken, maar twee *brandpunten*.

Daarom is er het handige extra *ellipsinstrumentje* (ontworpen door Tom Peters) dat je kunt helpen beter te begrijpen hoe het zit met *perihelium* en *aphelium*. We hebben de baan van Mercurius als voorbeeld genomen, want die is behoorlijk elliptisch: zijn perihelium ligt op 46,0 miljoen km van de zon, zijn aphelium op 69,8 miljoen km. Die waarden zijn voor de aarde 147,1 en 152,1 miljoen km, voor Venus 107,4 en 108,2 miljoen km, voor Mars 206,7 en 249,2 miljoen km. Het verschil bij dwergplaneet Pluto is veel groter: die beweegt tussen 4,5 miljard en 7,5 miljard km van de zon! Meestal houden we de gemiddelde afstand aan voor planeten, dwergplaneten en andere zonnestelselobjecten. De afstanden en afmetingen in dit instrumentje zijn niet op schaal.

## Afstandenmeter

Nog een extraatje: een klein liniaaltje om de afstanden (in km en AE, zie kader hiernaast) in het Tafelplanetarium te bepalen t/m Mars. Op de achterzijde staan echter ook de afstanden van de andere planeten en de dwergplaneten vermeld op dezelfde schaal. Je kunt dus bepalen waar Jupiter, Saturnus enz. staan ten opzichte van de zon in het Tafelplanetarium! Uiteraard zijn de planeetmodellen (dus de houten kralen) niet op schaal. Je zou ze op de gebruikte schaal niet eens kunnen zien! Voor dat doel hebben wij het heel bijzondere en erg leerzame Zonnestelselmodel (zie productoverzicht).



## Astronomische Eenheid

Als je de afstanden in het zonnestelsel aangeeft in km krijg je erg grote getallen. Neptunus staat bijvoorbeeld op 4,5 miljard km van de zon. Daarom gebruiken we voor afstanden in ons zonnestelsel de *astronomische eenheid* (AE). Een AE is de afstand van de aarde tot de zon: 149,6 miljoen km (vaak afgerond tot 150 miljoen km). Neptunus staat dus op 30 AE van de zon. Zie de afstanden in AE en km op de Afstandsmeter.

**Hiernaast:** het ellipseninstrumentje.

**Hieronder:** met het Tafelplanetarium kun je de de belangrijke situaties nabootsen, voor wat betreft de posities van de planeten, zoals conjuncties en opposities. In dit voorbeeld zie je de aarde, Mercurius (grijs), Venus (wit) en Mars (rood) op één lijn staan. Mars staat hier in *oppositie*. De *binnenplaneten* Mercurius en Venus zijn in *conjunctie* met de zon, dus staan voor ons in dezelfde richting als de zon: een slechte situatie om zo'n planeet te bekijken, want de zon overstraalt ze. Maar je ziet nog iets: Venus staat tussen de aarde en de zon in, en staat dus het dichtst bij de aarde in haar baan om de zon. Dat betekent dat ze aan de hemel groter is, maar ook dat we tegen de donkere kant van de planeet aankijken. Venus is in *benedenconjunctie*. Mercurius staat aan de andere kant van de zon, dus op zijn verste van de aarde, en is dus in *bovenconjunctie*.



# Het Tafelplanetarium

## Retrograde beweging - serie

Met het Tafelplanetarium kun je perfect illustreren waarom planeten nu en dan lijken stil te gaan staan en in de verkeerde richting te gaan bewegen - de retrograde beweging. Op deze en de volgende twee pagina's zie je een serie illustraties die je laten zien hoe die vreemde beweging ontstaat.

Hiernaast, bovenin, zie je de **basissituatie**, met de vier binnenste planeten in een configuratie die handig is om de demonstratie te beginnen. We nemen Mars, en daarvoor is de 'Mars-extensie' nodig, omdat de afstanden binnen het Tafelplanetarium te klein zijn om het proces voor Mars goed weer te geven (bedenk dat de afstanden erg zijn verkleind: de aarde staat in werkelijkheid gemiddeld op 150 miljoen, en Mars gemiddeld op 228 miljoen km van de zon! Voor Mercurius en Venus zijn de getallen resp. 57,9 en 108,2 miljoen km).

## Perioden

Als verhouding van de omloopperioden in het Tafelplanetarium wordt gebruikt:

|            |            |
|------------|------------|
| Mercurius: | 3 maanden  |
| Venus:     | 8 maanden  |
| Aarde:     | 12 maanden |
| Mars:      | 24 maanden |

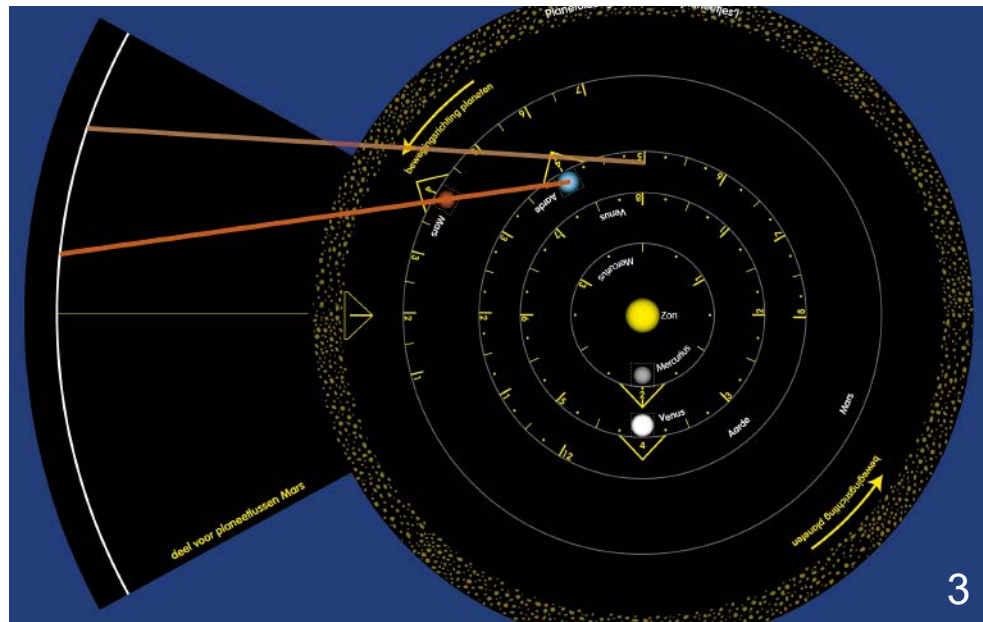
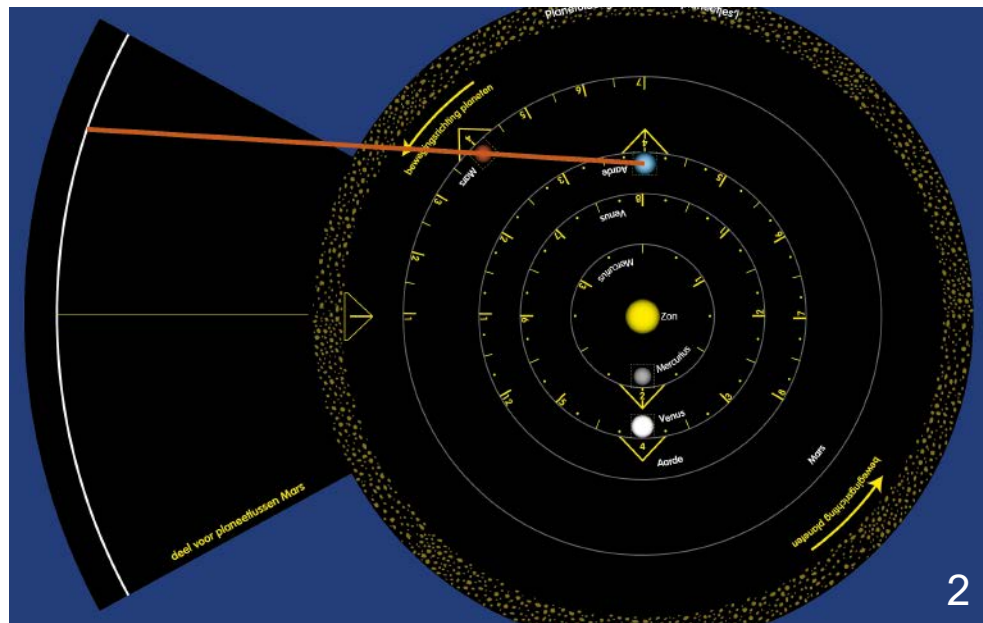
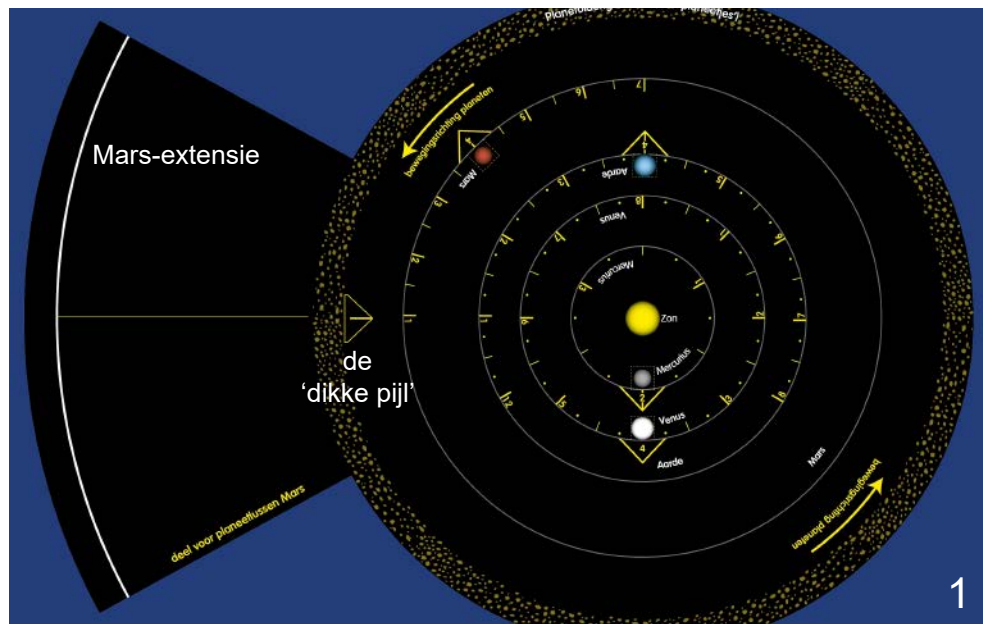
## Start van de demonstratie

Waar het nu om gaat is alle planeten in de demonstratie op de stand '1' te plaatsen. We gaan hier uit van Mars en Aarde, dus Venus en Mercurius kunnen we negeren (maar ook met die **binnenplaneten** kun je de demonstratie prima geven, en dan zonder de 'Mars-extensie').

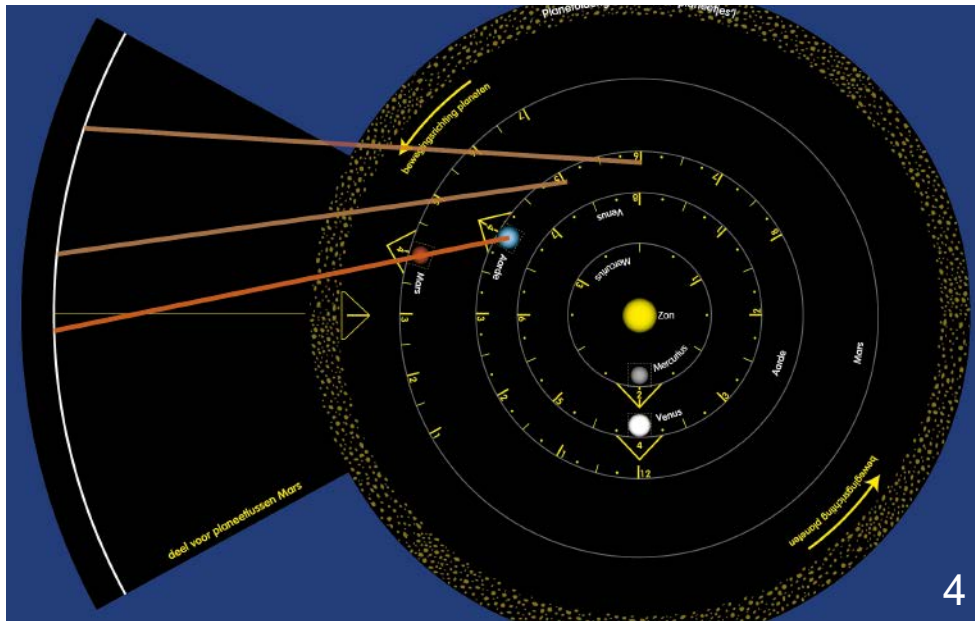
Zet van de Aarde- en de Mars-schijf de gele '1' tegenover de dikke pijl aan de linkerkant.

## De plaatjes:

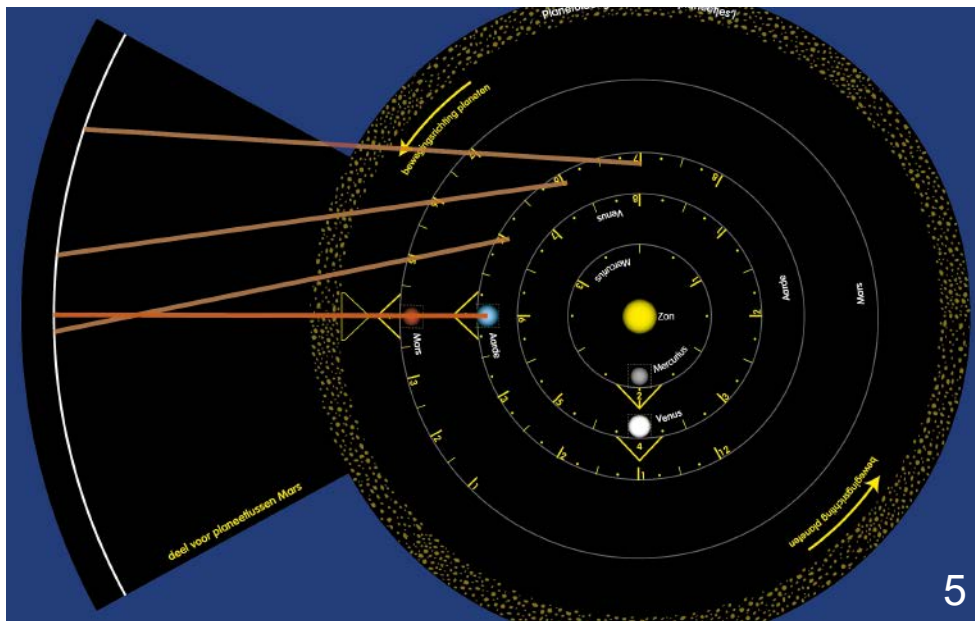
1. de beginsituatie.
2. de beginsituatie, met de richting van Mars (vanaf de aarde gezien) aangegeven met een oranje lijn. Tijdens de demonstratie gebruik je daarvoor een stokje. Geef met pijl '1' de beginstand van Mars aan op de extensie.
3. na 1 'maand' (stand '2') is Mars zoals gewoonlijk aan de sterrenhemel in oostelijke richting opgeschoven. Plaats pijl '2' op de rand van de extensie.



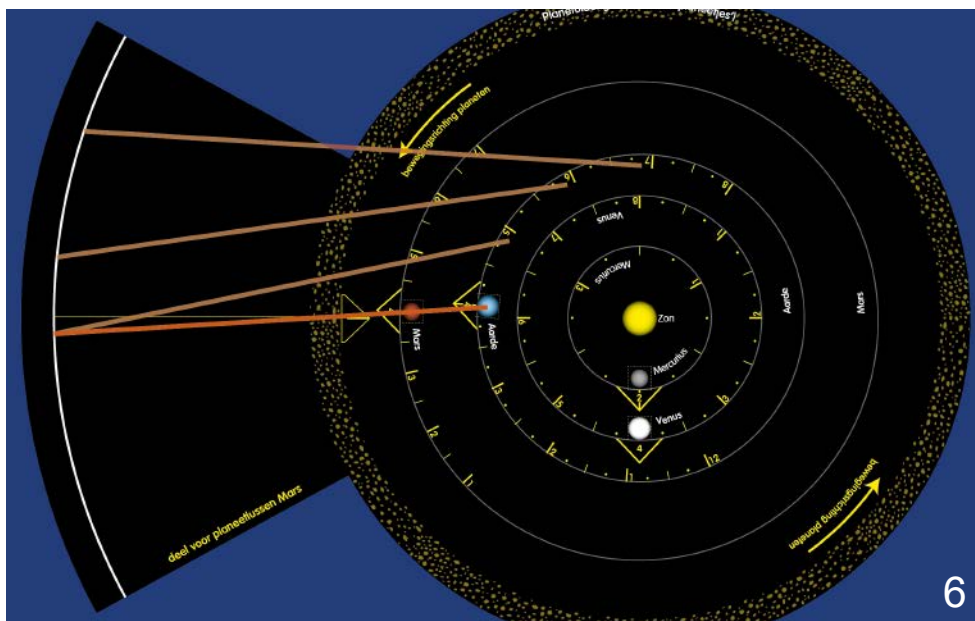
# Het Tafelplanetarium



4



5



6

**Mogelijke demonstraties:**

**1. Bewegingsrichtingen**

Het Tafelplanetarium kan allerlei kenmerken van de planeetbanen laten zien, ook dat alle planeten en de meeste kleinere zonnestelselobjecten in oostwaartse richting om de zon bewegen. Dat is, van boven de zon (dus van boven de noordpool van de zon) gezien tegen de wijzers van de klok in. De reden is niet zo moeilijk: de **zonnenevel**, de enorme wolk van gas en stof waaruit de zon en de rest 4,567 miljard jaar geleden ontstonden roteerde langzaam. De vorming van het zonnestelsel begon toen die zonnenevel ging samentrekken. Daardoor ging de wolk sneller draaien. Dat is de **Wet van Behoud van Impulsmoment**, een wet die ook werkt als een kunstrijdster op de schaats een pirouette maakt waarbij ze sneller gaat ronddraaien als zij haar armen dichtert bij haar lichaam trekt. Door die snellere rotatie veranderde de vorm van de wolk in die van een schijf: de **protoplanetaire schijf**. Daarin ontstonden de zon, de planeten en alle andere zonnestelselobjecten. En daarom bewegen die allemaal in dezelfde richting om de zon. Ook de rotatie van de meeste planeten en andere grote objecten is in die oostwaartse richting en dat is de reden waarom wij op Aarde sterren in het oosten zien opkomen en in het westen zien ondergaan. Venus roteert echter in de 'verkeerde' richting, en sommige kleinere zonnestelselobjecten, zoals planeetoiden, ijsdwerfen en kometen, hebben een retrograde en/of erg schuine baan.

(vervolg op pagina 12)

**De plaatjes:**

4. na 2 'maanden', met de gele '3' tegenover de dikke pijl. Mars beweegt nog steeds in oostelijke richting.

5. na 3 'maanden' beweegt Mars in westelijke richting! In de tussentijd (een 'week' eerder?) stond Mars dus even stil aan de hemel, hij was dus **stationair**, om daarna **retrograde** te gaan bewegen. Dat kun je beter tonen met de 'weekpijltjes'.

6. Je kunt het exacte **moment** dat Mars **stationair** was met het planetarium bepalen, door de stappen kleiner te maken. Ofwel door tussen de 'maanden' de 'weken' te proberen: de 3/4, 3/2 en 3/4.



# Het Tafelplanetarium

(Vervolg pag. 11)

Daarmee is blijkbaar ooit iets gebeurd, door botsingen of de invloed van een grote planeet. Al die afwijkende bewegingen zijn later gekomen, na het ontstaan van het zonnestelsel.

## 2. Binnen- en buitenplaneten

Het Tafelplanetarium toont de vier binnenste planeten, dus die het dichtst bij de zon staan. Planeten die dicht bij de zon staan dan de aarde noemen we de **binnenplaneten**. Het zijn alleen Mercurius en Venus, want de aarde is de derde planeet van de zon af gerekend.

Planeten met een baan die verder van de zon af is dan de aardbaan noemen we **buitenplaneten**. Het zijn Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus. Voor het doel van het Tafelplanetarium is Mars als buitenplaneet voldoende. En en Jupiter staat op de schaal van het Tafelplanetarium al zó ver van de zon dat het Tafelplanetarium daarmee veel te groot zou worden: Jupiter zou op 34 cm van de model-Zon komen!

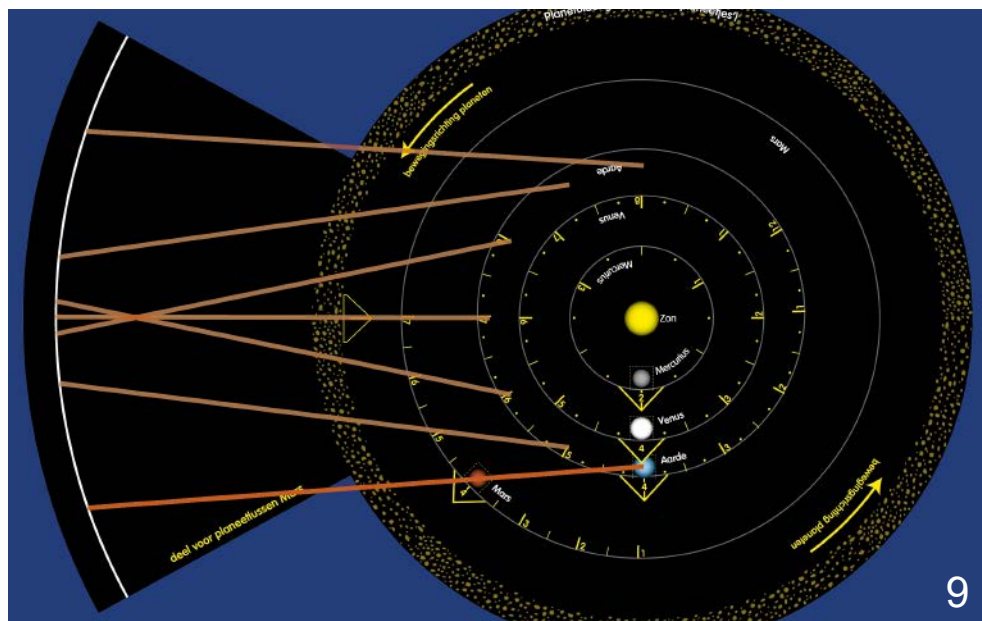
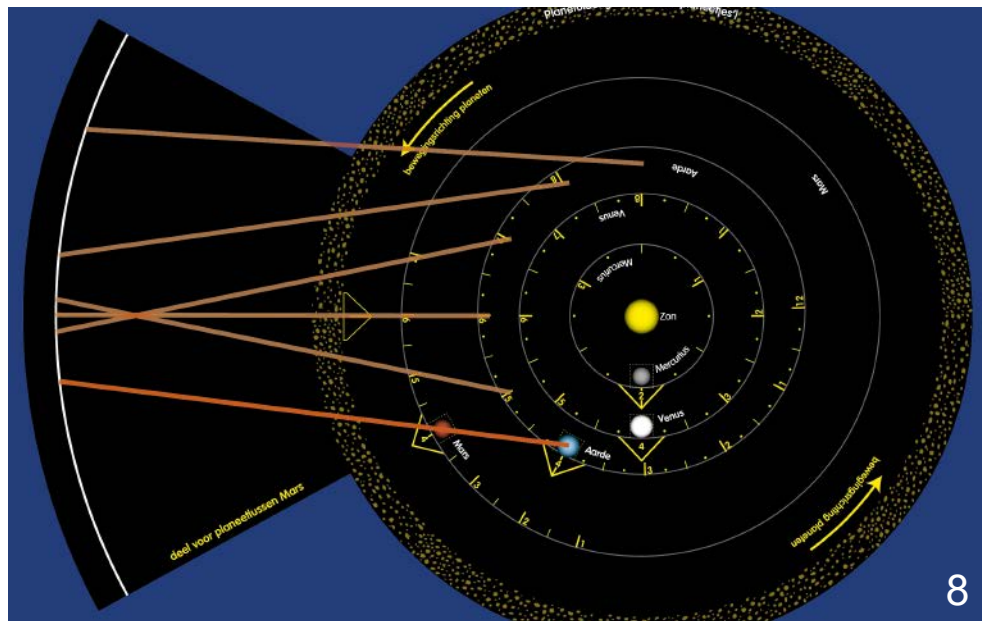
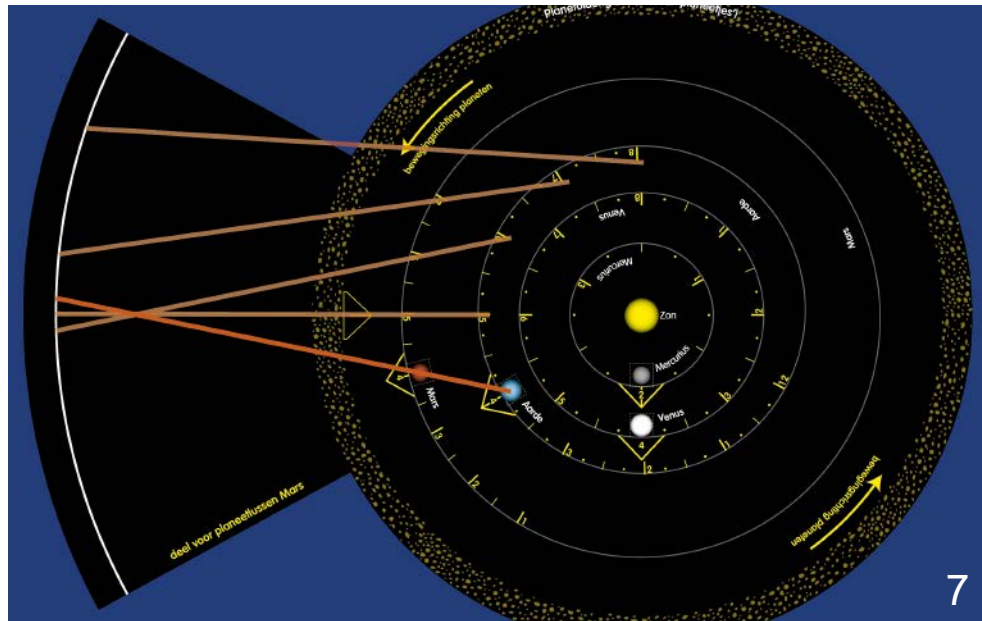
We hebben de afstanden op de schaal van het Tafelplanetarium echter opgenomen in het bijgeleverde liniaaltje, de **Afstandsmeter**. Die bespraken we eerder in deze handleiding.

### De plaatjes:

7. na 4 'maanden': Mars beweegt nog steeds **retrograde**, dus terugwaarts.

8. na 5 'maanden' heeft Mars zijn normale oostwaartse beweging weer opgepakt. Hij moet dus nogmaals **stationair** zijn geweest! Kun je bepalen wanneer dat moet zijn geweest? Als ik dat zelf doe merk ik dat Mars 3 'weken' eerder (dus na 4 'maanden en een week',  $4\frac{1}{4}$ ) nog **retrograde** bewoog. Maar als je het Tafelplanetarium instelt op  $4\frac{1}{2}$  en  $4\frac{3}{4}$  'week' geleden zie je dat Mars toen op ongeveer hetzelfde punt aan de hemel stond: toen was hij dus **stationair**!

9. na 6 'maanden' is het duidelijk dat Mars zijn normale, prograde beweging voortzet.





## Index

|                                               |      |                                                |       |
|-----------------------------------------------|------|------------------------------------------------|-------|
| Aarde, lengte schaduwkegel                    | 3    | Maan, lengte schaduwkegel                      | 3     |
| aardlicht                                     | 3    | Maan, schijngestalten                          | 3     |
| AE (Astronomische Eenheid)                    | 11   | maanfasen                                      | 3     |
| afnemende maan                                | 4    | maansikkel                                     | 3     |
| afstandenmeter (liniaal)                      | 11   | maansverduistering                             | 5     |
| aphelium                                      | 10   | maximum (van een verduistering)                | 5     |
| apoapsis                                      | 10   | Mercuriusovergang                              | 7     |
| apogeum                                       | 10   | middelpunt (van cirkel)                        | 10    |
| asgrauw schijnsel                             | 3    | morgenster (Venus)                             | 7     |
| Astronomische Eenheid (AE)                    | 11   | nieuwe maan                                    | 3     |
| atmosfeer, breking licht                      | 4    | omlooperperiode (van planeten)                 | 10    |
| avondster (Venus)                             | 7    | oostwaartse beweging planeten en maan          | 6, 13 |
| baanhelling                                   | 4    | oppositie (positie planeet)                    | 8     |
| Behoud van Impulsmoment (wet)                 | 13   | overgang (van Venus of Mercurius)              | 7     |
| benedenconjunctie                             | 7    | penumbra: zie bijschaduw                       | -     |
| bewegingsrichting planeten (oorzaak)          | 13   | periapsis                                      | 10    |
| bijschaduw                                    | 4    | perigeum                                       | 10    |
| binnenplaneten                                | 6, 7 | perihelium                                     | 10    |
| boogminuut (')                                | 8    | prograde (beweging)                            | 9     |
| boogseconde (")                               | 8    | protoplanetaire schijf (evolutie Zonnestelsel) | 13    |
| bovenconjunctie                               | 7    | retrograde (beweging)                          | 9     |
| brandpunten (van ellips)                      | 10   | ringvormige zonsverduistering                  | 5     |
| buitenplaneten                                | 6, 8 | rood licht                                     | 4, 5  |
| cirkel                                        | 10   | schaduwkegels                                  | 3     |
| conjunctie (positie planeet)                  | 7    | schijngestalten van de maan                    | 3     |
| dalende knoop (in banen, vlakken)             | 5    | staafjes (cellen in ons oog)                   | 5     |
| dierenriem                                    | 6    | stationair (van planeetbeweging)               | 9     |
| ecliptica                                     | 6    | sterrenbeelden van de dierenriem               | 6     |
| eerste kwartier                               | 3    | stijgende knoop (in banen, vlakken)            | 5     |
| ellips                                        | 10   | tellurium                                      | 2     |
| ellipsinstrument                              | 11   | totale maansverduistering                      | 4     |
| elliptische baan                              | 4, 9 | totale zonsverduistering                       | 4     |
| elongatie (positie planeet)                   | 7    | totaliteitszone                                | 5     |
| fasen van de maan                             | 3    | umbra: zie kernschaduw                         | -     |
| gedeeltelijke zons- of maansverduistering     | 4    | Venusovergangen                                | 7     |
| graad (°)                                     | 8    | verduisteringen                                | 4     |
| grootste (westelijke of oostelijke) elongatie | 7    | vlak van de ecliptica                          | 6     |
| hoekafstand                                   | 8    | vlak van de equator                            | 6     |
| jaar                                          | 6    | volle maan                                     | 4     |
| kegeltjes (cellen in ons oog)                 | 5    | wassende maan                                  | 3     |
| kernschaduw                                   | 4    | Wet van Behoud van Impulsmoment                | 13    |
| knoop (bij banen, vlakken)                    | 5    | zien (bij rood licht)                          | 5     |
| knopenlijn (in banen, vlakken)                | 5    | zonnenevel (evolutie Zonnestelsel)             | 13    |
| kwadratuur (positie planeet)                  | 7    | Zonnestelsel, meer informatie over             | 2     |
| laatste kwartier                              | 4    | Zonnestelsel, ontstaan en evolutie             | 13    |
| lusbeweging (van planeten)                    | 8    | zonsverduistering                              | 5     |
| Maan, baan                                    | 4    | zonsverduisteringen                            | 5     |
| Maan, bewegingen                              | 3    |                                                |       |

**Dwaalsterren**

*Als je regelmatig naar de sterrenhemel kijkt valt het op dat de sterren altijd in vaste patronen te bewonderen zijn. Sterren volgen wel allemaal hun eigen weg, met hun eigen richting en snelheid, maar de veranderingen (op die enorme afstanden!) zijn aan de sterrenhemel zo klein dat wij er in ons leven niets van merken. We noemen ze daarom wel de 'vaste sterren'. Waarom? Nou, al heel lang geleden had men in de gaten dat er tussen die 'vaste' sterren enkele lichtpuntjes waren die op een voor-spelbare manier bewogen, tegen de achtergrond van de sterrenhemel. De een bewoog snel, de andere veel langzamer. De Grieken noemden ze **aster planetes**, wat zoiets betekent als 'dwaalster'. Daarvan komt ons woord 'planeet'. Er waren vijf van die planeten die men kon zien: Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus. Het voorspelbare gedrag van deze planeten maakte ze voor de meeste volkeren erg 'geschikt' als goden. De rode planeet Mars was vaak de god van de oorlog (de kleur van bloed!) en de erg heldere en statig bewegende planeet Jupiter was steevast de oppergod. Onze namen voor deze planeten zijn dan ook meestal de namen van de belangrijkste Romeinse goden. Planeten die verder weg staan kan men met het blote oog niet zien en werden pas ontdekt nadat de telescoop was uitgevonden. In 1781 werd Uranus (vernoemd naar een Griekse god), en in 1846 Neptunus. Pluto werd in 1930 ontdekt maar is te klein voor een planeet.*

**Programma Rob Walrecht**meer informatie en prijzen via [www.walrecht.nl](http://www.walrecht.nl)te bestellen via [www.walrecht.nl](http://www.walrecht.nl) of boekhandel**Boeken**

|                                         | ISBN (978-90-) |
|-----------------------------------------|----------------|
| B-01 Genieten van de sterrenhemel       | 77052-01-3     |
| B-02 Genieten van het zonnestelsel      | 77052-21-1     |
| B-03 Genieten van het heelal            | 77052-22-8     |
| B-04 Higgsdeeltje                       | 77052-35-8     |
| B-05 De Oerknal en het uitdijend heelal | 77052-43-3     |
| B-06 Zelf Sterrenkijken (2019)          | -              |

**Planisferen**

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| PLN-NL Ned. Planisfeer voor 52° NB       | 801496-1-8 |
| PLN-NL-R Ned. Planisfeer voor waarnemers | 77052-24-2 |
| PLN40NL Ned. planisfeer Zuid-Europa      | 801496-2-5 |
| PLN50NL Ned. planisfeer Midden-Europa    | 801496-9-4 |
| PLN60NL Ned. planisfeer Noord-Europa     | 801496-8-7 |

**Andere producten**

|                                                  | ISBN (978-90-) |
|--------------------------------------------------|----------------|
| Astroset Basisset sterrenkunde voor de jeugd     | 77052-18-1     |
| (set van MDL-ZS1, STW-NL en SDL-NL)              |                |
| MDL-MPL Astroset Maan en planeten                | 77052-46-4     |
| MDL-ZS1 Schaalmodel zonnestelsel - basisset      | 77052-44-0     |
| MDL-ZS2 Schaalmodel zonnestelsel - aanvulset     | 77052-45-7     |
| STW-NL Zelfbouw draaibare sterrenkaart           | 803243-2-9     |
| SDL-NL Zelfbouw zonnwijzer                       | 803243-4-3     |
| P-TTL Set van 6 sterrenkundeposters              | 77052-30-3     |
| P-SCH Set van 2 sterrenkundeposters voor scholen | 77052-37-2     |

**Cursussen en lezingen**

Rob Walrecht verzorgt ook lezingen en cursussen. Voor informatie, zie [www.walrecht.nl](http://www.walrecht.nl).

# Informatie

**De foto's hiernaast**

**Boven:** het zonnestelselmodel bestaat uit 32 kaartjes (in beide sets), waarmee je je eigen Planetenpad kunt maken. Rechts welke informatie de kaartjes geven.

**Midden, links:** met de zelfbouw draaibare sterrenkaart kun je de sterren en sterrenbeelden leren kennen. Het is een eenvoudige planisfeer.

**Midden, rechts:** met de zelfbouw zonnwijzer leer je de tijd die wij gebruiken te begrijpen.

**Hieronder:** de planisfeer is hét hulpmiddel om de sterrenhemel te leren kennen! En ons boek **Genieten van de sterrenhemel** vertelt je alles over de bewegingen aan de sterrenhemel, tijd en meer.

## Inleiding



**diameters 100 x groter (schaal 1:1 miljard) om planeten te vergelijken**

**Jupiter de grootste planeet**

afhangaatje

algemene gegevens

de diameter op schaal

waarmee je de grootte op schaal kunt vergelijken

afstand tot de zon op schaal

grote manen op schaal 1:1 miljard

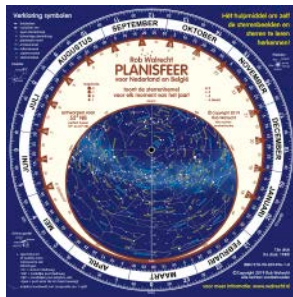
|                     |                                    |
|---------------------|------------------------------------|
| afstand tot de zon: | 778.550.000 km                     |
| diameter:           | 142.984 km                         |
| duur omloop [jaar]: | 11 jaar, 315 d                     |
| duur rotatie [dag]: | 9 uur, 55 m, 33 s                  |
| massa [aarde = 1]:  | 318                                |
| aantal manen:       | 67 + dunne ringen                  |
| grote manen:        | Io, Europa, Ganymedes, Callisto    |
| temperatuur:        | -25.000°C (binn), -145°C (wolkant) |
| atmosfeer:          | 86,4% waterstof, 13,6% helium      |

manen op schaal 1:1 miljard.

afstand 7,85 m

grote manen op schaal 1:1 miljard

grootte 1,4 mm kopschild



**Maak je eigen draaibare sterrenkaart!**

Rob Walrecht draaibare sterrenkaart

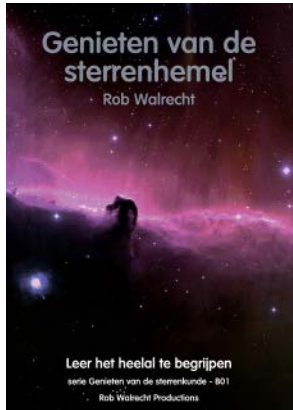
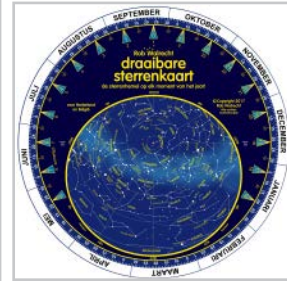
Wat heb je nodig?

Wat je kunt zien

Maak je eigen zonnwijzer!

Andere leuke sterrenkundeproducten:

STW-NL



**Maak je eigen zonnwijzer!**

Wat heb je nodig?

Wat heb je te zien?

Maak je eigen zonnwijzer!

Andere leuke sterrenkundeproducten:

STW-NL

**Rechts** de andere vier boeken die begin 2019 uit waren; je ziet van links naar rechts:

- **Genieten van het zonnestelsel**, deel 2 van de serie 'Genieten van de sterrenkunde', waarvan het boek dat hierboven wordt beschreven deel 1 is.

- **Genieten van het heelal**, deel 3 van de serie, over sterren en sterrenstelsels.

- **Higgs gevonden**, Compleet overzicht van de bouwstenen van de materie (vernieuwde 2e druk in 2018 uitgekomen).

- **De Oerknal en het uitdijend heelal** - Zoeken naar het begin van alles (2015).

In 2019 komt een zesde boek uit: **Zelf sterrenkijken!**

